

# СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

4

2025



Электронная  
версия этого  
журнала



## ПОБОЛТАЕМ С LLM: КАК И О ЧЁМ ДУМАЕТ НЕЙРОСЕТЬ

В НОМЕРЕ:

**БЕЗ ПРИВЯЗИ:**  
«вечное» питание  
для устройств IoT

**T-TENG ВО СПАСЕНИЕ:**  
носимая электроника  
контролирует организм

**ДА БУДЕТ СВЕТ:**  
простой сенсорный  
регулятор яркости

ПРОИЗВОДСТВО  
МИРОВОГО УРОВНЯ

ЕВГЕНИЙ  
ЛИПКИН

# ПРОИЗВОДСТВО МИРОВОГО УРОВНЯ

ЕВГЕНИЙ  
ЛИПКИН

ПУТЬ К ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РОССИЙСКОГО  
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

АКАДЕМИЯ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
ОСТЕК-СМТ



НОВИНКА

 **ostec**  
группа компаний

Реклама



# ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



## ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»

подписка с гарантированной доставкой



онлайн: [www.cta.ru](http://www.cta.ru) • +7 495 234-0635 • [shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru)  
на почте: по каталогу «Урал-Пресс» (на год – 81872, на полугодие – 72419)



– И очень просто, – пролаял Шариков от книжного шкафа. Он взглядывался в галстук, отражавшийся в зеркальной бездне.

– Я бы очень просил вас, – огрызнулся Филипп Филиппович, – не вмешиваться в разговор. Вы напрасно говорите «и очень просто» – это очень не просто.

М.А. Булгаков «Собачье сердце»

Здравствуйте, уважаемые друзья!

Эта цитата из гениального произведения могла бы служить достойным эпиграфом ко многим статьям. Но сегодня мы начинаем цикл об искусственном интеллекте и нейросетевых технологиях. Кто же в наше время не слышал об ИИ? Ну и что, вот он – ChatGPT. Задал вопрос – получил ответ, всё просто, как в обычном чате... Наш рассказ для тех, кто не считает, что тут всё очень просто, и хотел бы разобраться в теме чуточку глубже.

О новых разработках в области носимых трибоэлектрических устройств T-TENG появляется всё больше и больше информации. Переход от теории к практике стал возможен благодаря прогрессу во многих областях знаний – от биомедицины и биохимии до микроэлектроники и материаловедения. Не за горами время, когда подобные компактные энергонезависимые устройства будут повсеместно применяться для диагностики, мониторинга и коррекции функций человеческого организма. Читайте о текущем состоянии и ближайших перспективах развития направления.

Автономные IoT-устройства, интегрированные в огромные информационные сети, – очевидное будущее автоматизации. Но им, как бы экономичны они ни были, необходимы источники питания. Именно вопросам электропитания таких устройств посвящена одна из наших статей.

Читайте в этом номере о способах получения «бесплатной» энергии путём утилизации тепла и вибрации, о простом эффективном способе поддержания температуры, о плавной сенсорной регулировке яркости светильников, о высокочастотных резбовых разъёмах с ресурсом более ста тысяч циклов соединения, а также о многом другом.

Заходите на наш информационный портал [www.cta.ru](http://www.cta.ru), там для вас всегда найдутся свежие новости со всего мира, а также последние выпуски наших журналов. Подписывайтесь на наши каналы в Телеграм, ВК, на RuTube, YouTube и на Дзене!

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

Юрий Широков, главный редактор

Журнал «Современная электроника»

Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков

Заместитель главного редактора А. В. Малыгин

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

Вёрстка М. Ю. Соколов

Обложка Д. В. Юсим

Распространение Ю. А. Фенчева ([shop@cta.ru](mailto:shop@cta.ru))

Реклама Н. А. Антипов +7 (968) 567-30-06 ([antipov.n@cta.ru](mailto:antipov.n@cta.ru))

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К. В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

117279, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 108, пом/ком/эт 1/67/тех

Почтовый адрес: 117437, г. Москва,

Профсоюзная ул., 108

Тел.: (495) 232-00-87

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

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз.

Цена свободная

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

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

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

Тел./факс: (499) 903-69-52

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов.

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

© СТА-ПРЕСС, 2025

## Мы в соцсетях!



# СОДЕРЖАНИЕ 4/2025

## РЕКЛАМОДАТЕЛИ

|           |               |
|-----------|---------------|
| ЛИТЕМАХ   | 42            |
| Остек-СМТ | 2-я стр. обл. |
| Элеконд   | 19            |
| ЭРКОН     | 27            |

**АРПЭ: после снятия санкций России придется защищать своих производителей**



**Иван Покровский,**  
исполнительный директор АРПЭ,  
исполнительный директор АСПЭК,  
генеральный директор Совэл

СМОТРИТЕ  
НА КАНАЛЕ  
СЭТА



СЛУШАЙТЕ  
В ПОДКАСТЕ  
СЭТА



## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 4 Электронные системы NENS с интерфейсом человек-машина с трибоэлектрическими датчиками T-TENG

*Андрей Кашкаров*

### 20 Инновационные токопроводящие плёнки с элементами TFT как способ зарядки от теплового и вибрационного датчика QOT для носимых электронных устройств

*Андрей Ласорла*

### 28 Современная электроника и искусственный интеллект Часть 1. Что такое искусственный интеллект, и что он может

*Виктор Алексеев*

## ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

### 38 Электропитание IoT-устройств: проблемы и перспективы

*Валерий Жижин*

### 44 Автоматический дискретный регулятор температуры

*Олег Вальпа*

### 47 Сенсорные регуляторы яркости с фазоимпульсным и ШИМ-управлением

*Александр Одинец*

## ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

### 52 Миниатюрные вертикальные резьбовые соединители с предельной частотой 110 ГГц для соединения с печатными платами 100 000 раз

*Кива Джурунский, Владимир Алексеенков, Владимир Стёпушкин*

# Электронные системы NENS с интерфейсом человек-машина с трибоэлектрическими датчиками T-TENG

Андрей Кашкаров

Благодаря недавним достижениям в области беспроводных сетей 5G и Интернета вещей (IoT) электронные носимые устройства активно взаимодействуют между собой с высокой скоростью обмена данными для обеспечения одновременной передачи информации о человеческом организме. Гибридные интегрированные гибкие электронные системы (HIFES), беспроводные сенсорные сети (WSN) позиционируются как ключевая технология для анализа информации, связанной с идентификацией личности, здравоохранением, применением интерфейса человек-машина (HMI) и ежесекундным мониторингом человеческой активности (практической жизнедеятельности). Так, РЭА носимого форм-фактора в последние десятилетия отличаются гибкостью и безопасностью материалов, малым весом и автономным питанием, не требующим подзарядки или замены источника питания в течение длительного времени. В статье рассматриваются новые разработки и особенности электронных устройств с трибоэлектрическими датчиками (T-TENG) и перспективы их совершенствования.

## Условия (предпосылки) возникновения и реализации идеи

Эра искусственного интеллекта (ИИ) и Интернета вещей (IoT) стремительно развивается благодаря новым достижениям в области РЭА класса портативных и носимых устройств. Поза и походка человека – малоизученные его идентификационные особенности, однако в этом направлении активно ведутся работы. Признано важным изучить и проанализировать сенсорную информацию из повседневной жизнедеятельности, содержащую персональные данные идентификации. Такие устройства до последнего времени были ограничены высокой стоимостью, относительно высоким энергопотреблением и несовершенными методами анализа, требующими огромных баз, библиотек и наборов данных для хранения и сравнения. С развитием облачных сервисов и технологий, но главным образом, с прорывными технологи-

ями в области материаловедения и ИИ проблема решается и быстрее, и проще.

За последние несколько десятилетий сообщалось о разработке гибких устройств с различными структурами и материалами. Текстиль – основная часть обычной одежды – тщательно исследован как износостойкая, гибкая и в целом подходящая платформа для электронных датчиков с перспективой развития их мультифункциональности и большей интеграции. С помощью трибоэлектрических сенсоров открылись возможности для новых энергетически экономичных электронных устройств, питающихся комплексно: от естественной среды, солнечной энергии, низкочастотных движений тела и даже выделений потовых желез для последующей передачи цифровых данных от сенсорных датчиков беспроводным способом в постоянном режиме в формате сквозной структуры сигналов. Так, обычный носок для ступни, оснащённый функцией автономного питания установленного электронного сенсора, может использоваться в качестве базы для носимых датчиков, предназначенных для диагностики и накопления индивидуальной информации пользователя, а также некоторых параметров состояния медицинского здоровья. Причём количество доступных параметров постоянно расширяется.

В перспективе подобные методы будут использоваться и для понимания двигательной активности животных. В этой сфере у разработчиков есть множество идей, требующих реализации. Даже простым аналитическим наблюдением (и это доступно любому без специальных инструментов) можно установить, что улитка (брюхоногий моллюск) двигается по определённой системе: паттерн её движений – прямолинейный ход, затем «завиток» на манер петли Нестерова, известной лётчикам-испытателям, по мокрому грун-

дировать сенсорную информацию из повседневной жизнедеятельности, содержащую персональные данные идентификации. Такие устройства до последнего времени были ограничены высокой стоимостью, относительно высоким энергопотреблением и несовершенными методами анализа, требующими огромных баз, библиотек и наборов данных для хранения и сравнения. С развитием облачных сервисов и технологий, но главным образом, с прорывными технологи-

будут использоваться и для понимания двигательной активности животных. В этой сфере у разработчиков есть множество идей, требующих реализации. Даже простым аналитическим наблюдением (и это доступно любому без специальных инструментов) можно установить, что улитка (брюхоногий моллюск) двигается по определённой системе: паттерн её движений – прямолинейный ход, затем «завиток» на манер петли Нестерова, известной лётчикам-испытателям, по мокрому грун-



Рис. 1. Путь улитки

ту будет повторяться через равные расстояния почти с точностью (рис. 1).

То же касается наблюдений на небольшой глубине за участком водоёма, акватории. Если относительно долго, в течение получаса, стоять на месте на берегу и наблюдать за водой в прозрачном месте водоёма, насыщенного рыбами, оказывается, что примерно по одной траектории через разные промежутки времени появляется та же рыба и движется примерно по одному маршруту с изменениями направления (зигзагами) как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Те же данные ещё в более достоверной фиксации – для последующей аналитической работы – можно получить, установив в определённом месте видеокамеру для съёмки того же участка водоёма или камеру для подводной съёмки. По результатам этих наблюдений можно предположить, что и более развитые животные класса млекопитающих в естественных природных условиях могут двигаться по циклическим маршрутам в разные или, наоборот, через равные промежутки времени.

Но в данном случае с помощью электронных датчиков открываются возможности для исследования и анализа идентификационных качеств походки и типичных поз. А пока точность идентификации человека по походке и типичным, наиболее часто принимаемым позам достигла значения 93,54% [12].

Ещё один фактор – проблемы сбора и защиты данных индивидуальной (персональной) информации. Учитывая проблемы биометрической идентификации, конфиденциальности распознавания лиц, отпечатков пальцев и акустического распознавания, анализ походки как персональной характеристики имеет множество преимуществ перед другими способами идентификации. Индивидуальное распознавание походки имеет меньше ограничений в окружающей и коммуникационной среде для сбора данных, потому что собирать такие данные в повседневной жизни – относительно легко и быстро. Такие устройства лучше и незаметнее, в отличие от широко используемых датчиков IMU, которым требуется относительно высокая мощность питания.

Для дальнейшего улучшения качества жизни изобретение различ-



Рис. 2. Сенсорный датчик в носке

ных носимых датчиков на основе электрокардиограммы, электромиограммы, температуры тела, частоты сердечных сокращений и других открывает возможности как в фитнес-сервисе, так и в медицинской диагностике путём долгосрочного мониторинга физиологических сигналов. В частности, обнаружение движений человека имеет ценность для создания информации о состоянии здоровья пользователя, количественной оценки активности и установлении эффективного канала между людьми и машинами [5–14].

Когда речь идёт о непрерывном и удобном мониторинге разнообразных состояний движения человека, камеры и датчики инерциального измерительного блока (IMU) широко используются в устройствах для приложений умного дома. Однако распознавание зрения камерами может вызвать проблемы с конфиденциальностью, а использование IMU, по сути, не является достаточно гибким и удобным в качестве предпочтительного решения. Кроме того, ношение нескольких громоздких IMU на теле человека может вызвать неизбежные помехи для движений.

Поэтому электронные устройства, разработанные для стопы, становятся чрезвычайно перспективными и востребованными, поскольку двигательная активность стопы является одним из основных (доступных и подходящих) источников сбора кинетической энергии из человеческого тела. Электронные устройства SmartSocks («умные носки») по внешнему фактору выглядят, как обычные

носки. Они выдерживают машинную стирку и не требуют зарядки или смены элементов питания. В текстиль уже на производстве встроены электронные компоненты с массивом сенсорных датчиков. SmartSocks собирают со стопы и лодыжки пользователя физиологические показатели о колебании сердечных сокращений, количестве выделившегося пота, о двигательной активности и др. В цифровом виде информация передаётся по беспроводному каналу в приложение на смартфоне, оттуда – в облачный сервис и обрабатывается алгоритмами машинного обучения (ИИ). Выводы система представляет в адаптированном виде с показателями датчиков (в том числе в динамике) и даже рекомендациями по ситуации.

Такая специализированная РЭА помогает на ранней стадии в достаточно точной форме распознавать признаки возбуждения, стресса, тревоги или гиперреактивности (двигательного беспокойства). Она же сигнализирует в выбранном пользователем режиме предупреждения для пользователя, врачей или родственников о его состоянии и необходимости помощи. Так, жизнь пожилого или с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) человека (инвалида) вне клиники становится более безопасной, предсказуемой и комфортной.

На рис. 2 представлен внешний вид электронного датчика, конструктивно зашитого в специальный носок.

В разработке используется сопряжённый (комплексный) пьезо-, пьезоэлектрический эффект для



Рис. 3. Вид электронного носка с чувствительными датчиками для медицинского протеза

автономного одновременного изменения температуры и давления и MR-датчики управления интерфейсом на основе трибоэлектрического наногенератора в приложении IoT. Из исследовательских центров, продолжающих тестировать с целью усовершенствования PЭА медицинского назначения и в частности «умные носки», отметим команды разработчиков Центра исследований и технологий ухода Британского института исследований деменции при Имперском колледже Лондона, разработчиков из британского стартапа MilBotix, Национального университета Сингапура с Центром интеллектуальных датчиков и МЭМС (CISM), Сучжоуского научно-исследовательского института (NUSRI), Высшей школы интегративной науки и техники (NGS), Кафедры электротехники и компьютерных систем из Университета Монаша, Мельбурн, Австралия и многих других. Такие электронные системы, получившие одобрения лицензирующих органов и потому выпущенные в серию, производятся несколькими предприятиями в США, ЕС, странах Индокитая. Всех производителей нет смысла описывать и называть, тем более что нет для изделий единого каталожного артикля.

Подобные устройства распространены не только на острове Туманного Альбиона и континенте Северной Америки, но и по всему миру.

### Носки для медицинских протезов

Современные протезы могут оснащаться системами обратной связи,

которые позволяют ощущать давление на конечность и даже прикосновения к предметам. Австрийские инженеры придумали способ расширить возможности любых протезов с помощью универсальной неинвазивной системы обратной связи. Внешне устройство выглядит как носок, определяет давление в шести зонах искусственной стопы и вибрацией передаёт эту информацию пользователю [9]. На рис. 3 представлен вид электронного носка для медицинского протеза.

Устройство состоит из трёх слоёв: пьезорезистивной ткани в середине и токопроводящих полос внутри и снаружи. Полосы перекрещиваются, образуя чувствительную эластичную матрицу. Данные о давлении, изгибе или прикосновении передаются на браслет с шестью вибромоторами, по

одному на каждую из зон. Вибрируют моторы с разной силой, в зависимости от интенсивности сигнала. Пользователь закрепляет браслет на руке, торсе или другой части тела с помощью липучки [9].

### Практические примеры

К примеру, Лео Ранникко, финский художник-авангардист, до своей смерти в прошлом году в возрасте 89 лет в течение нескольких лет использовал SmartSocks. Поскольку общение с выдающимся художником было многолетним и плодотворным (рис. 4), указанные сведения автор может подтвердить лично. Такое устройство помогает поддерживать здоровье людей как медицинскому, административному персоналу в домах престарелых, так и в домашнем варианте социального обслуживания. В последнем случае пожилые и страдающие несколькими заболеваниями (по возрасту) люди не могут оперативно сообщить о своём состоянии по причине потери памяти, физиологических недомоганий, волнения или стресса. Электронное устройство в режиме реального времени по сетям LTE пересылает собранные с помощью автоматизированной диагностики несколько видов данных в цифровой форме о состоянии подконтрольного пациента, такие как артериальное давление, уровень сахара в крови, уровень сатурации и многих других.

Поэтому на проверенном примере можно констатировать, что электронные носимые устройства специ-



Рис. 4. Лео Ранникко слева



Рис. 5. Носки-няньки для детей младшего возраста



Рис. 6. Носки для больных диабетом

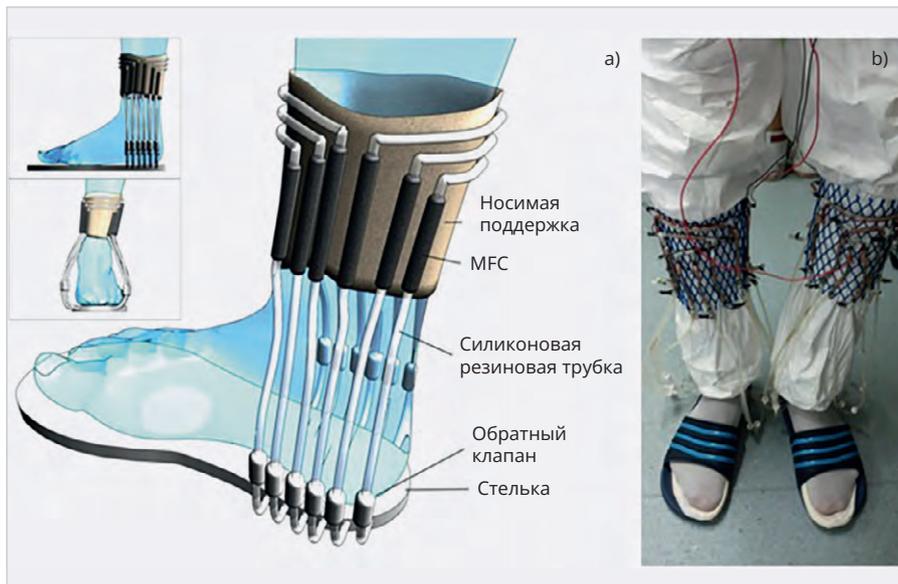


Рис. 7. Малоэнергетический генератор электроэнергии

ального (медицинского) назначения реально помогают медперсоналу, родственникам или опекунам отслеживать состояние пациента с ограниченными возможностями здоровья онлайн. Умные носки создали не вчера. Ранние версии гаджетов имели бóльший вес, случалось, вызывали дискомфорт пользователя из-за негибких материалов и желание избавиться от постороннего предмета на теле, по той же причине их намеренно «теряли» или приводили в негодность. Но самое главное, что ранее не был решён вопрос с бесперебойным питанием электронных датчиков: анахронизмы эпохи регулярно снимали для подзарядки или смены элементов питания – батарей типа CR2450 и CR3050.

### Из истории вопроса

Ещё в материалах Международного симпозиума (MeMeA) IEEE по медицинским измерениям и приложениям, проведённом в Рочестере, штат Миннесота, США, в 2017 году широко упоминались разработки РЭА с использованием методов машинного обучения, позволяющие определять по фазам особенности походки человека, выявляемые по кинематике двигательной активности бедра [9]. О реальных успехах инженеров и разработчиков в этом перспективном направлении будем говорить на протяжении всей статьи. Теперь же уместно сказать, что подобные разработки приводят научно-технический прогресс к тому, что можно идентифицировать человека не только биоме-

трическим методом в классическом понимании, но также с помощью анализа походки или позы. Как элемент диагностики состояния, можно рассматривать автономную носимую текстильную наноэнергетическую систему (NENS) для медицинских приложений следующего поколения [6]. Но впервые оформленную модель датчика давления мышечной активности и обнаружения движения, зашитого в текстильную форму (стельку), представили и описали в 2006 году в рамках X Международного симпозиума IEEE по носимым компьютерам в г. Монтрё, Швейцария [5]. Разработка состоялась во взаимодействии с беспроводной сетью датчиков для тела на основе растягивающихся пассивных меток.

### Аналогичные электронные устройства

К ним также относятся «носки-няньки» с электронными датчиками, представленные на рис. 5.

Умные носки бывают не только для взрослых, но и для грудничков. Американская компания Owlet около десяти лет разрабатывает и продаёт системы мониторинга жизненных показателей для детей в виде умного носка с функцией трекинга сна. Устройство, созданное инженерами компании, надевается на ногу ребенка и отслеживает частоту сердечных сокращений и уровень кислорода в крови с помощью пульсоксиметра, а также двигательную активность по акселерометру. Данные отправляются на сопряжённый с устройством

смартфон с приложением, через которое можно удалённо следить за снимаемыми показателями и получать оповещения. К примеру, электронное устройство формирует сигнал «тревоги» и сообщает родителям, что ребенок перевернулся или проснулся, а также диагностирует и определяет качество сна малыша.

Инженеры из компании Siren Care разработали умные носки, способные заметить начало воспаления и заранее предупредить больного диабетом о том, что нужно лечение (рис. 6).

Носки сделаны из ткани в сочетании со специальными материалами Neurofabric. В ткань вшиты датчики-микросенсоры для контроля температуры в шести точках стопы с периодичностью диагностики 10 секунд и контролируют также другие параметры. Повышение температуры ассоциируется с началом воспаления, которое ведёт к развитию диабетической язвы.

Фиксируя рост температуры, электронное устройство отправляет предупреждение на телефон пользователя по каналу Bluetooth. В компании также разработано устройство Siren Hub, заменяющее смартфон и сопряжённое с беспроводным модулем в носках. С его помощью информация и сигналы передаются медицинскому персоналу, который, в свою очередь, связывается с пользователем. Носки Siren можно стирать в стиральной машинке, но, как и у обычных носков, ткань со временем изнашивается. А для правильной работы электронных датчиков необходи-

мо, чтобы ткань плотно прилегала к коже. Поэтому компания, заинтересованная в долгосрочном сотрудничестве, даже поставляет клиентам несколько новых пар умных носков каждые полгода.

На рис. 7 представлено условно экзотическое электронное устройство – маломощный генератор электроэнергии, разработанный группой инженеров из Университета Западной Англии. Устройство, по форме напоминающее гетры, представляет собой носимые на ногах микробные топливные элементы, зашитые в износостойкую ткань. Ресурсом для производства энергии стала человеческая моча, циркулирующая внутри устройства за счёт механического давления и силы тяжести.

Относительно сложная система состоит из пластиковых трубок, соединяющихся с механической помпой под пяткой. При каждом шаге ступня человека давит на помпу, и жидкость поднимается к закреплённым на голени 12 топливным элементам. Пройдя сквозь них, органическая жидкость стекает обратно по нисходящим трубкам. Затем цикл повторяется. При ходьбе процесс становится непрерывным, и потому генерируется электричество. Идея сама по себе креативная, поскольку микробные топливные элементы тоже выполнены в виде трубок. Внутренняя поверхность содержит электроды: катод и анод, разделённые мембраной, пропускающей только ионы водорода  $H^+$ . На аноде микроорганизмы разлагают химические вещества из мочи: мочевину, креатинин, соли, при этом выделяют протоны и электроны. Последние по проводам поступают в суперконденсаторы (ионисторы) и питают подсоединённые электронные устройства. Затем, когда из внешней электрической цепи обратный ток поступает на катод, электроны вместе с протонами, которые проскочили через мембрану, образуют воду, реагируя с кислородом в составе воздуха [15].

Также среди разработанных приборов высокочувствительный автономный трибоэлектрический слуховой датчик для социальной робототехники и слуховых аппаратов, а также сверхрастягивающийся и структурно-проектируемый трибоэлектрический наногенератор на основе жидкого металла для носимой электроники. «Умная», или иначе, «масштабируе-

мая электронная» перчатка с тактильной обратной связью – креативный НМІ для приложений виртуальной, дополненной реальности – позволяет изучить возможности, силы и сигнатуры захвата ладони с использованием электронной техники [7].

### Спортивное направление NINE

Однако не только артериальное давление или уровень сахара могут замеряться электронными датчиками. Фитнес-браслеты с фиксацией на запястьи, груди или поясе известны как популярный способ следить за показателями физической активности. По информации со встроенных датчиков, таких как пульсометр, акселерометр, гироскоп, GPS-трекер и др., рассчитывается число шагов, пройденное расстояние, скорость пользователя и потраченные калории. Нельзя сказать, что адаптируемые результаты очень точны; как и в смарт-часах даже известных марок с качественным исполнением, на дисплей выводится приблизительный результат с отклонениями до 20%. Более точно количество шагов и каденс на пробежке покажут анализаторы с помощью датчиков, установленных прямо на ступне или лодыжке. На основе этой идеи разработаны датчики для фитнес-трекеров и медицинского диагностического оборудования, в том числе «защитые» в текстиль носка, стельку или подошву обуви. Как вариант, датчики в форме гибкого сенсора, вшитые в подошву носка и в трёх точках ступни, реагируют на давление ступни на грунт при шаге или беге. В съёмном и облегчённом беспроводном модуле Core установлен акселерометр, магнетометр и гироскоп, а также приёмопередатчик Bluetooth для трансляции информации на смартфон с активным и адаптированным приложением.

На рис. 8 показано внутреннее устройство гибкого электронного датчика плоской формы для носка. Это стало возможным благодаря открытию и разработке новейших материалов.

Кроме общих показателей шагомера, электронная система (приложения) анализирует особенности приземления на стопу и ударную нагрузку при ходьбе или беге. Эти физиологические свойства зависят от многих факторов: поверхности доро-



Рис. 8. Внутреннее устройство электронного датчика для носка



Рис. 9. Вид футболки с датчиками контроля разных параметров

ги, погодных условий, особенностей обуви, но во многом они индивидуальны и в комплексе с другими характеристиками человека могут служить предметом его идентификации. Тем не менее электронное устройство распознает (и фиксирует в электронной памяти) стиль ходьбы или бега пользователя. А это позволяет сравнивать в динамике в разное время (месяцы, годы) сопоставимые параметры и даже вырабатывать простые (сложные даст специалист, тренер, врач) рекомендации для корректировки техники ходьбы или бега с целью победы в соревнованиях или снижения вероятности получения травм. В комплексе с умными носками можно задействовать не менее «умную» футболку со встроенным анализатором сердечного ритма и другими датчиками (рис. 9).

### Польза идей для российских разработчиков

Из рассмотренного материала следует, что идентификация пользователя по анализу походки с использова-



Рис. 10. Устройство для улучшения вращения кисти руки – прообраз наногенератора с трибоэлектрическими сенсорными датчиками

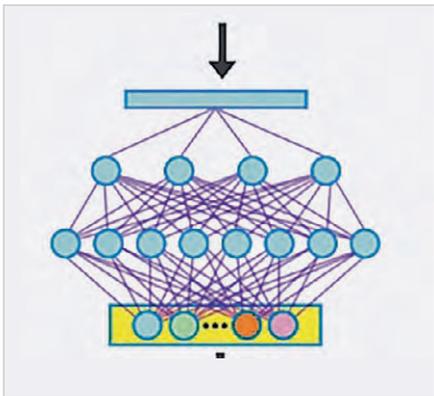


Рис. 11. Схема реагирования датчика на внешние воздействия

нием мультимодальных электронных датчиков в «умной стельке» или носке – не единственная перспектива в области развития новейших технологий. На основе тренировочного устройства для спортсменов-теннисистов – для улучшения вращения кисти руки – создан носимый бесконтактный свободно вращающийся гибридный наногенератор для устройств автономной электроники (рис. 10).

Помимо сбора энергии, многофункциональные трибоэлектрические наносенсоры на текстильной основе имеют аддитивную функционализацию (рис. 11). В данном случае перспективно не только встраивание, но и вышивка на ткани носимых и моющихся суперконденсаторов (ионисторов), реализованных в гибкой форме.

На рис. 11 и рис. 12 наглядно показаны особенности новейших микромембранных технологий. Примерно такими же являются и датчики давления на основе трибоэлектрических наногенераторов, пригодные

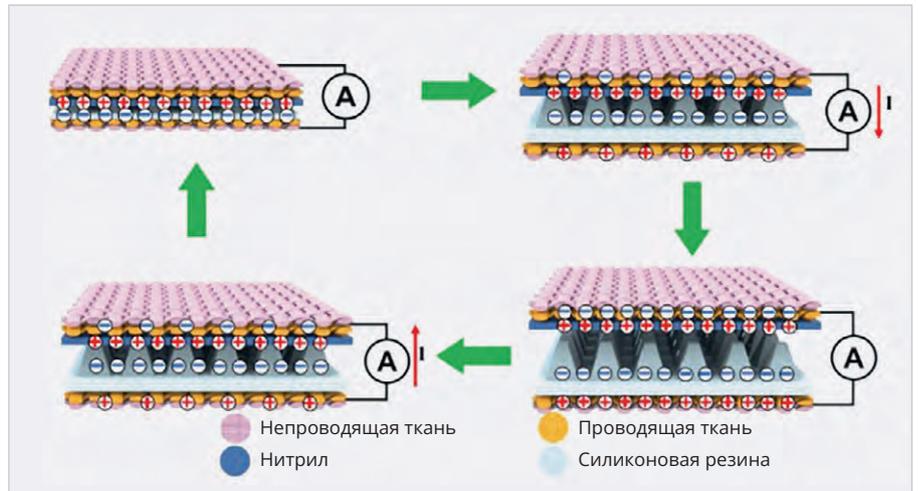


Рис. 12. Внутренний состав сенсора-датчика



Рис. 13. Датчик T-TENG

для машинной стирки и воздухопроницаемые, а также трибоэлектрические наногенераторы из текстиля, пригодные для машинной стирки, для эффективного мониторинга дыхания человека. О пьезоэлектрических и трибоэлектрических наногенераторах на основе волокон/тканей для гибкой/растягиваемой и носимой электроники и искусственного интеллекта можно прочитать в [3]. Создан даже гибкий сверхчувствительный ёмкостный датчик давления для мониторинга движения баскетбольного мяча, а также гибкие самозаряжающиеся блоки питания для портативной электроники на основе сложенной углеродной бумаги и самозаряжающаяся система питания на основе гибких бумаг с электропроводным слоем. Это стало возможным благодаря сочетанию трибоэлектрических и хеморезистивных эффектов и достигается путём гибридизации волоконных наногенераторов, солнечных элементов и

суперконденсаторов (ионисторов миниатюрной формы).

Вложенный арочный трибоэлектрический наногенератор для биомеханического зондирования с большим отклонением и сбора энергии представлен в [4]. О стратегиях и приложениях для управления поверхностным зарядом, генерируемым контактной электризацией, можно прочитать в [11]. Носимая трибоэлектрическая / нитрида алюминия наноэнергетическая наносистема с самоподдерживающейся фотонной модуляцией и непрерывным измерением силы представлена в [2]. Проведены исследования в широком поле: от растяжимых датчиков деформации на основе проводящих электроток самовосстанавливающихся динамических механически «сшитых» гидрогелей для обнаружения движения человека до практически пригодных в области строительного контроля «интеллектуальных ковриков» масштабируемой системы мониторинга пола [12].

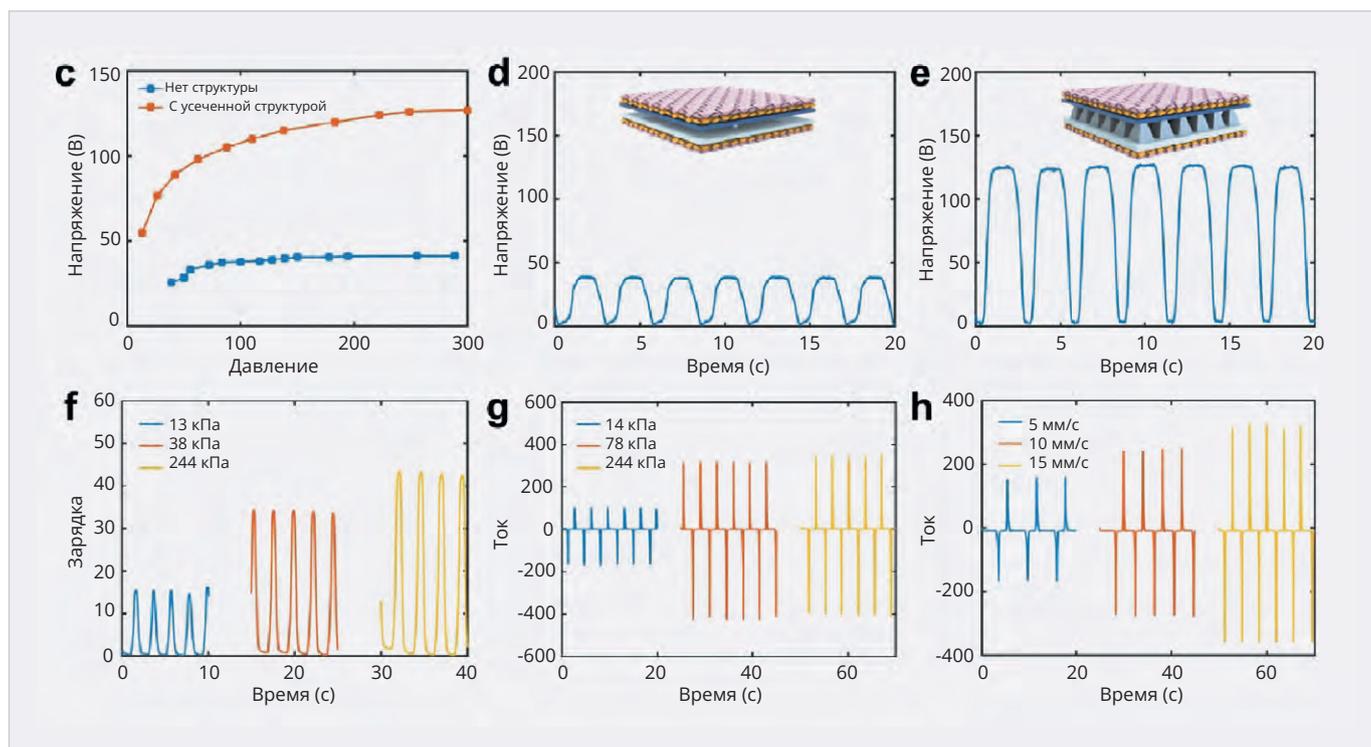


Рис. 14. Графики и формы импульсов датчика T-TENG

В целом об интересных тенденциях, разработках и конструкциях можно прочитать в [8–17]. Причём даже эти публикации в условиях быстрого устаревания технических данных можно считать неактуальными, так как им свыше 5 лет. Но в целом можно говорить о большом прогрессе в разработках РЭА носимой электроники, равно как в области фотоники, а также развитии в спортивной медицине и здравоохранении семантических платформ большой ёмкости для интеграции гетерогенных данных носимых устройств. В этом направлении речь идёт о концепции и перспективах проектирования, создания, производства и обслуживания цифровых двойников как новой эры в развитии робототехники и ИИ.

### Особенности трибоэлектрического сенсора

Несмотря на то что идее преобразовывать движения тела при ходьбе или беге в электрический ток с помощью «умной» одежды много лет, современные перспективные способы решения насущных задач связаны с трибоэлектрическим эффектом – появлением в материале электрических зарядов из-за трения. Так появились и совершенствуются «трибоэлектрические умные носки» с поддержкой беспроводной связи, облачных приложений

виртуальной реальности и в целом IoT. Одно из необычных или специфических направлений приложения идеи – управление компьютерными программами, приложениями и видеоиграми, в том числе в дополненной реальности, с помощью движений стопы по тому же принципу, как можно управлять электронными устройствами с помощью тактильного нажатия на кнопки и клавиши или прикосновениями к интерактивному экрану пальцами ладони. Что касается виртуальной реальности, заслуживает внимания разработка команды инженеров из Сингапура под руководством Ли Чжэнго, создавших реальный прототип умного носка, где движения пальцев стопы или притопывание, подпрыгивание, перенос веса тела с пятки на носок (и др.) превращаются в управляющую команду от пользователя к электронной системе [12, 15].

В основе технологии – трибоэлектрические наногенераторы (T-TENG), используемые как для выработки энергии, так и в роли сенсоров определения давления. Датчики состоят из двух внешних непроводящих электрический ток слоёв, между которыми два проводящих ток слоя из металлизированного полиэстера. Притом один слой покрыт нитрилом, а другой – силиконом с рельефной поверхностью в виде матрицы из усечённых

пирамидок в 3 миллиметра высотой (рис. 12).

При механической нагрузке тела человека на горизонтальную поверхность, возникающей во время ходьбы, прыжков или бега, между внутренними слоями датчика происходит перераспределение электрических зарядов и возникает разница потенциалов (напряжение). На конкретных примерах установлено, что за 300 шагов в спокойном темпе движения с помощью такого датчика можно зарядить конденсатор ёмкостью 27 мкФ до напряжения 8,2 вольт [12].

Этого вполне достаточно для питания модуля Bluetooth, чтобы передать на смартфон или иную компьютерную систему за 15–20 метров цифровые данные с электронных датчиков, установленных в сенсоре в носке. И не только данные о температурном режиме или влажности, но и многие другие.

Встроенный в носок трибоэлектрический сенсор показан выше на рис. 8.

### Принцип работы датчиков

Информация с трёх трибоэлектрических сенсоров, размещённых на подошве носка, обрабатывается (фильтруется от помех и модулируется) с помощью расположенного на теле пользователя электронного модуля с микроконтроллером. Затем данные передаются по беспроводной

му каналу и посредством персонального компьютера к предварительно обученной нейросети (ИИ), которая в автоматическом режиме распознаёт действия пользователя – ходьбу на месте, скольжение, прыжки, бег – и передаёт результат в виде команд в видеоигру. Алгоритм может выделять поведенческие паттерны, присущие конкретному игроку.

Но возможные применения умного носка не ограничиваются развлечениями. К примеру, устройство можно использовать для идентификации людей в системе управления умным домом. Если добавить датчики температуры и влажности, устройство подходит для отслеживания состояния здоровья или показателей физической активности спортсменов на тренировке.

Трибоэлектрический наногенератор (TENG) стал оптимальным вариантом для сбора отработанной энергии и измерения как биофизических, так и химических параметров на основе текстильной платформы из-за особых преимуществ, включая различные варианты материалов, простоту изготовления, низкое энергопотребление и низкую стоимость. Среди иных положительных факторов способность структурного удержания и усталостной прочности при ношении и стирке. Большинство T-TENG работают в режиме вертикального размещения контактов в автономном режиме. Специалист по фамилии Он и другие разработали узконаправленный датчик T-TENG, который может собирать механическую энергию с различных частей тела для питания модуля Bluetooth [6].

### Почему именно электронные носки?

Большинство подобных устройств не подходят для измерения давления, особенно на ногах из-за ограниченного диапазона чувствительности. Большие усилия направлены на разработку стелек с функциями сбора энергии, поскольку требования к гибкости и комфорту ношения стелек невысоки. Несмотря на то что носки принято стирать чаще, чем стельки, с точки зрения пригодности и долговечности обувные стельки также снабжают беспроводными датчиками T-TENG. С другой стороны, носки более универсальны в использовании в закрытых помещениях; их не

снимают и дома, где обувь не всегда применима.

### Конструкция и технические особенности

Хотя поверхностно-структурированный сенсор T-TENG по форм-фактору тонкий и почти неотличим от обычной одежды, диапазон чувствительности датчика до 200 кПа пока условно ограничен. В новых разработках использована технология нанесения силиконовой резины с помощью 3D-печатной формы, которая является недорогой и масштабируемой для массового производства в будущем. Датчик T-TENG содержит четыре функциональных слоя, включая тонкую нитриловую плёнку, плёнку из силиконовой резины с узорчатыми структурами пирамиды с квадратным основанием, как показано на рис. 13, и два контакта прикреплённых к задней части двух слоёв проводящих ток электродов. Не проводящие ток слои текстильного материала дополнительно используются для герметизации устройства. При воздействии на горизонтальную поверхность стопой давление на датчик индуцирует движение электронов: происходит преобразование механической энергии давления в электрический ток.

Напряжение на выходе датчика-сенсора при заявленной чувствительности 0,4 В кПа–1 возникает при давлении 72 кПа. Возможно давление стопы на основание горизонтальной поверхности (грунт) в большом диапазоне до 200–300 кПа. Поэтому желателен большой диапазон чувствительности сенсора, по крайней мере, до 200 кПа, чтобы корректно преобразовать давление и рабочую механическую деформацию датчика в электрический ток. Притом динамика напряжения холостого хода датчика T-TENG (без давления стопы) с разработанными поверхностными структурами при возрастающих приложенных давлениях показана на графике рис. 14с. С применением структуры усечённого конуса в миллиметровом масштабе, нанесённой на поверхность силиконовой резины, можно наблюдать почти в 3 раза более высокую чувствительность по сравнению с датчиком с плоской структурой (первый линейный диапазон от 10 до 70 кПа). Таким образом, диапазон чувствительности успешно рас-

ширен до > 200 кПа, что делает устройство достаточно чувствительным для восприятия изменённой амплитуды напряжения (на выходе датчика) электронным модулем с АЦП.

Форма импульсов на выходе датчика в разомкнутой цепи при высоком давлении 244 кПа в двух вариантах исполнения датчиков с/без структур усечённого конуса представлены на рис. 14d, e. Примечательно, что абсолютное значение напряжения датчика с усечённым конусом также увеличивается в 3 раза для увеличенной площади стопы (давления). Это актуально тогда, когда пользователь имеет условно большой размер обуви или увеличенную площадь давления на грунт, к примеру, если пользователь обут не в кроссовки, а в лыжные ботинки с пристёгнутыми лыжами.

Характеристики переданного заряда (Q) и тока короткого замыкания (I-sc) датчика T-TENG проверены и схематически изображены на рис. 14f. Передаваемый заряд T-TENG измерялся в вариантах нагрузки 13, 38 и 244 кПа со скоростью воздействия (нажатия и отпускания) 15 мм/с<sup>-1</sup> (рис. 14f). Исследованиями установлено, что значение напряжения (амплитуда импульсов) на выходе датчика увеличивается с приложенным давлением, а также из-за увеличенных площадей контакта. Аналогичным образом измерялся ток короткого замыкания T-TENG, и та же тенденция справедлива при увеличении давления нагрузки (рис. 14g). В отличие от напряжения холостого хода, амплитуда тока короткого замыкания также зависит от скорости нажатия стопы на поверхность и последующего отпускания. Как показано на рис. 14h, меньше амплитудных пиков наблюдается, когда скорость нажатия/отпускания уменьшается с 15 до 5 мм/с<sup>-1</sup>, и амплитуда пикового тока также снижается из-за сниженной скорости воздействия. Результаты испытаний на прочность и устойчивость к стирке представлены на рис. 15.

Трибоэлектрический датчик T-TENG изготавливается и прикрепляется к нижней части носка из хлопкового или совмещённого материала. С подключённым к питанию датчиком в носке или стельке походка человека подвергается электронному анализу на основе колебания напряжений на выходе датчика. Цикл походки включает четыре основных события,

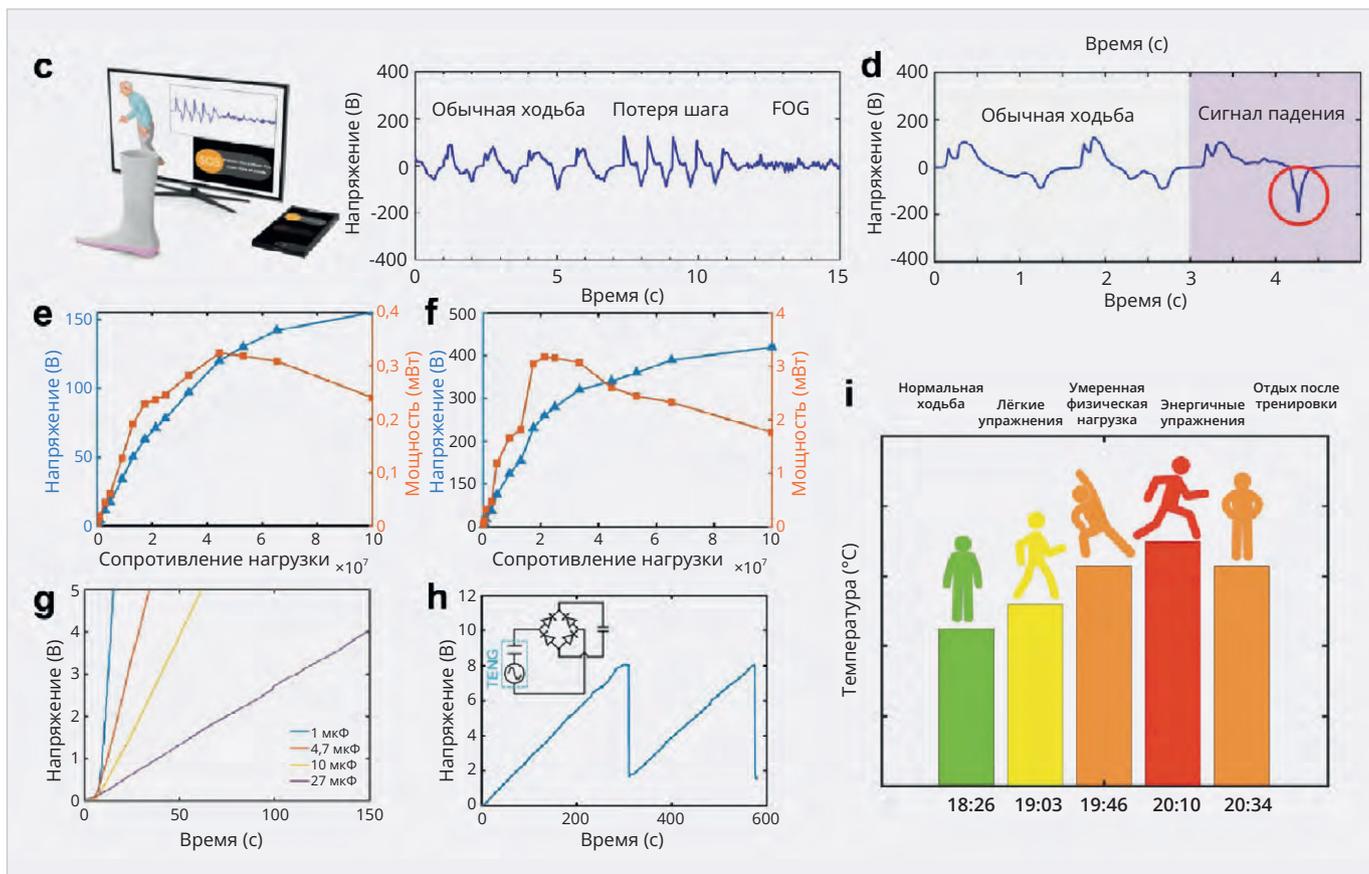


Рис. 15. Иллюстрация некоторых характеристик датчиков T-TEG, где: *c* – графики колебаний максимального напряжения датчика и модуля на правой ноге при ходьбе с частотой 1 Гц и бега с частотой 2 Гц, протестировано путём изменения внешнего нагрузочного сопротивления от 0,1 до 100 МОм; *d* – мониторинг в режиме реального времени модели, имитирующей походку пациента с болезнью Паркинсона, и сигналов походки при падении; *g* – кривая зарядки конденсаторов ёмкостью соответственно 1, 4, 7, 10 и 27 мкФ с зарядкой до напряжения 5 В; *h* – кривая зарядки и разрядки включённого и установленного на ноге устройства, где падение напряжения связано с затратами энергии активного модуля Bluetooth для передачи сигналов беспроводным способом; *i* – мониторинг температуры подмышечной впадины человека при различной интенсивности упражнений

как показано на рис. 16 (а, б), и связан с контактами отдельных частей стопы с поверхностью: «контакт пятки», «контакт носка», «отрыв пятки» и «отрыв носка».

Основываясь на рабочем механизме трибоэлектрического датчика, будут генерироваться положительные пики при приложении к нему давления и резко уменьшаться при прекращении давления. Соответственно, когда пользователь двигается вперед, положительные пики амплитуды соответствуют контакту пятки и контакту носка, наблюдаются во время полувцикла походки, и отрицательные пики, соответственно, при отрыве пятки и отрыве носка обнаруживаются после этого воздействия (рис. 16). Таким образом, из колебаний выходного напряжения заметны некоторые предварительные характеристики, то есть частота циклов воздействия/отпускания, что харак-

теризует походку или бег во времени. Положительные/отрицательные фронты импульсов (пиковые амплитуды) и временной интервал каждого события фиксируются в цикле походки (иллюстрация рис. 16б).

Благодаря таким характеристикам можно предварительно контролировать типы человеческой деятельности. Болезнь Паркинсона (БП) как прогрессирующее и нейродегенеративное двигательное расстройство обычно проявляется симптомами нарушения походки и даже падениями. Чтобы показать возможное применение медицинского мониторинга применительно к рассматриваемому устройству, были выполнены имитирующие движения БП, которые часто измеряются у пациентов, и соответствующие обнаруженные сигналы показаны на рис. 17.

Три состояния, включая нормальную ходьбу, потерю шага и застыва-

ние походки (ЗП), обнаруживаются последовательно. Пациент типично испытывает потерю шага перед ЗП, что характеризуется укороченными интервалами между спайками. Медицинскими исследованиями установлено, что в это время пользователь не может пошевелить ногами, даже намереваясь это сделать, что и отражено небольшими и нерегулярными колебательными сигналами от датчиков. Кроме того, электронное устройство используется для обнаружения события падения по записанным сигналам походки. Условно аномальный отрицательный пик с высокой амплитудой импульсов по сравнению с предыдущими нормальными данными может быть обнаружен, когда происходит падение, и после этого не генерируется положительный пик амплитуды, что указывает на то, что ноги пользователя всё ещё не оторваны от земли.

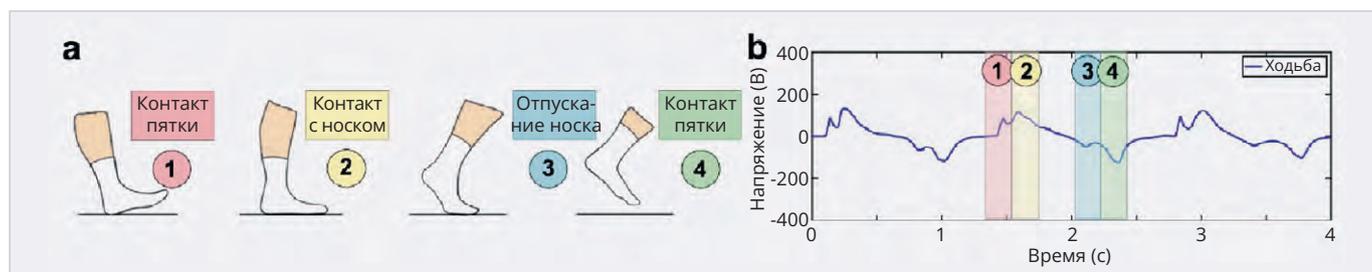


Рис. 16. Иллюстрация циклов сгибания частей стопы, где:  
 а – схемы четырёх фаз типичного цикла контакта стопы с горизонтальной поверхностью;  
 б – соответствующие сигналы нормальной ходьбы (правая нога)

Кроме того, проиллюстрирована система удалённого мониторинга здравоохранения в реальном времени как демонстрация умного носка. Сигналы походки анализируются микроконтроллером (MCU) и передаются на ПК, а далее в «облако» по беспроводной связи. Если походка пользователя соответствует нерегулярным сигналам по сравнению с записанными нормальными сигналами ходьбы, система экстренного медицинского оповещения отобразит соответствующее предупреждение, к примеру, о потере шага или падении и проинформирует лиц, осуществляющих уход и надзор за пациентом.

Таким образом, система мониторинга состояния здоровья в реальном времени и оповещения о неотложной медицинской помощи представляют большую перспективу для подобных усовершенствованных в будущем электронных устройств в различных приложениях электронной системы контроля здоровья для оказания помощи как пожилым людям, так и пациентам с ОВЗ, что может быть дополнительно использовано для «умного дома», стационарных клиник и медицинских центров. Устройство может быть также полезно при изучении моделей ходьбы у людей, страдающих такими заболеваниями, как диабет, мышечно-скелетные аномалии и реабилитация после различных травм.

Помимо распознавания походки, поскольку электронное устройство работает на основе самопитающегося (с автономным питанием) трибоэлектрического механизма, его можно использовать в качестве аккумулятора электрической энергии от движений стопы. Выходная мощность устройства на правой ноге измеряется при различных внешних нагрузках от 0,1 до 100 МОм.

Как показано на рис. 14е, выходная мощность 0,32 мВт генерируется при ходьбе с частотой 1 Гц при нагрузке 44,4 МОм. В случае бега с частотой воздействия стопы на грунт 2 Гц из-за большей силы и частоты, которые стопа прикладывает к носку, максимальная мощность 3,18 мВт измерена при сопротивлении 21,3 МОм (рис. 14ф). Следовательно, предлагаемый носок способен аккумулировать энергию под воздействием циклов походки при различных движениях. Как мы показали выше, модифицированное выходное напряжение при давлении носка стопы заряжало конденсаторы ёмкостью 1; 4,7; 10 и 27 мкФ до 5 В (рис. 14г), демонстрируя характеристики надёжного источника питания [12].

После примерно 300 шагов при обычной ходьбе устройство может зарядить конденсатор ёмкостью 27 мкФ до 8 В для питания модуля Bluetooth, после чего напряжение на конденсаторе падает до 2 В, как показано на рис. 14h. Эта мощность от носка активирует питание модуля беспроводной передачи сигналов Bluetooth для отправки сопутствующих данных, к примеру, о влажности (потливости) тела и его температуре на смартфон, использующийся для мониторинга температуры тела человека при различной интенсивности упражнений. Поскольку температура тела связана с интенсивностью упражнений, эти данные следует учитывать при оценке температуры тела субъекта. Интересно, что и температура тела в подмышечной впадине субъекта регистрировалась при различных состояниях активности (обычная ходьба, легкие упражнения, умеренные упражнения, интенсивные упражнения и отдых после упражнений) в пяти и более различных ситуациях, как показано на рис. 14i.

Температура тела в районе подмышки постепенно увеличивалась, когда пациент непрерывно выполнял упражнения, и снижалась в состоянии покоя. В результате контроля зафиксированные колебания температуры тела дают представление о физическом состоянии человека, а повышенная температура тела является показателем или недомогания в различных нозологиях, или интенсивных упражнений. Между тем устройство TENG, подключённое параллельно с диодом и мультиплексором, может обеспечить на выходе ток большого значения. Следовательно, новаторский подход к созданию усилителей тока и напряжения выходных каскадов новых электронных модулей на основе рассматриваемого сенсорного датчика с применением диода является осуществимым для ускорения включения и эффективности модуля Bluetooth и других «потребителей» энергии.

Благодаря интеграции устройства с внешним модулем и (или) другими маломощными датчиками с различными функциональными возможностями в будущем возможно создание ещё более комплексной платформы (IoT).

Поскольку индивидуальная скорость ходьбы является важным фактором для анализа походки, необходимо тщательно определить время замера импульсов с датчика. По опытным данным точность достигает наивысшей степени, когда период измерений составляет 4 с. Технические характеристики включали замеры амплитуды импульсов, их частоту, интервал событий в цикле походки и другие.

До появления рассматриваемого датчика в ручном извлечении характеристик, таких как частота, амплитуда, интервал пиков и время удержания, нельзя было корректно распознавать сложные характери-

стики с тонкими различиями между ними, и подобные системы (ранее) были весьма восприимчивы к изменениям окружающей среды, что приводило к снижению точности распознавания данных.

Слияние технологий нового электронного устройства в сочетании с аналитической системой ИИ способствовало развитию технологии датчиков давления на примере TENG и в целом интеллектуальной системы, связанной с процессом сбора, обработки/анализа и передачи данных. Поэтому технологии обучения ИИ из-за высокого уровня производительности во многих типах данных становятся весьма предпочтительным вариантом машинного обучения с перспективой для анализа данных от трибоэлектрического датчика для достижения более высокой точности комплексного распознавания.

Сверхточная нейронная сеть (CNN) становится ещё одной многообещающей технологией глубокого обучения ИИ для автоматического извлечения данных от новейших датчиков NENG. Кроме того, одномерный (1D) метод на основе CNN для распознавания человеческой деятельности оказался эффективным для общего анализа набора данных, в котором положение признаков в сегменте не сильно коррелирует; таким образом, он подходит для анализа временных последовательностей рассматриваемых электронных датчиков. В данном случае необработанные данные из электронного устройства, содержащие разнофакторную информацию о динамическом цикле походки, такую как скорость походки, контактное усилие между стопами и обувью, последовательность срабатывания датчиков и индивидуальные манеры (стиль) движения конкретного пользователя, интерпретируются для обучающей модели 1D CNN напрямую без сложных этапов обработки данных [8].

На рис. 16а, б показана идентификация шаблона походки участников, применяющих устройство с одним датчиком, с помощью метода 1D CNN. Набор данных создан из анализа и тестов разных участников эксперимента (женщина с весом 45 кг; женщина с весом 40 кг, 60 кг; мужчины соответственно с весом 55, 60 и 70 кг), когда они ходили обычным образом, но равное время по коридору

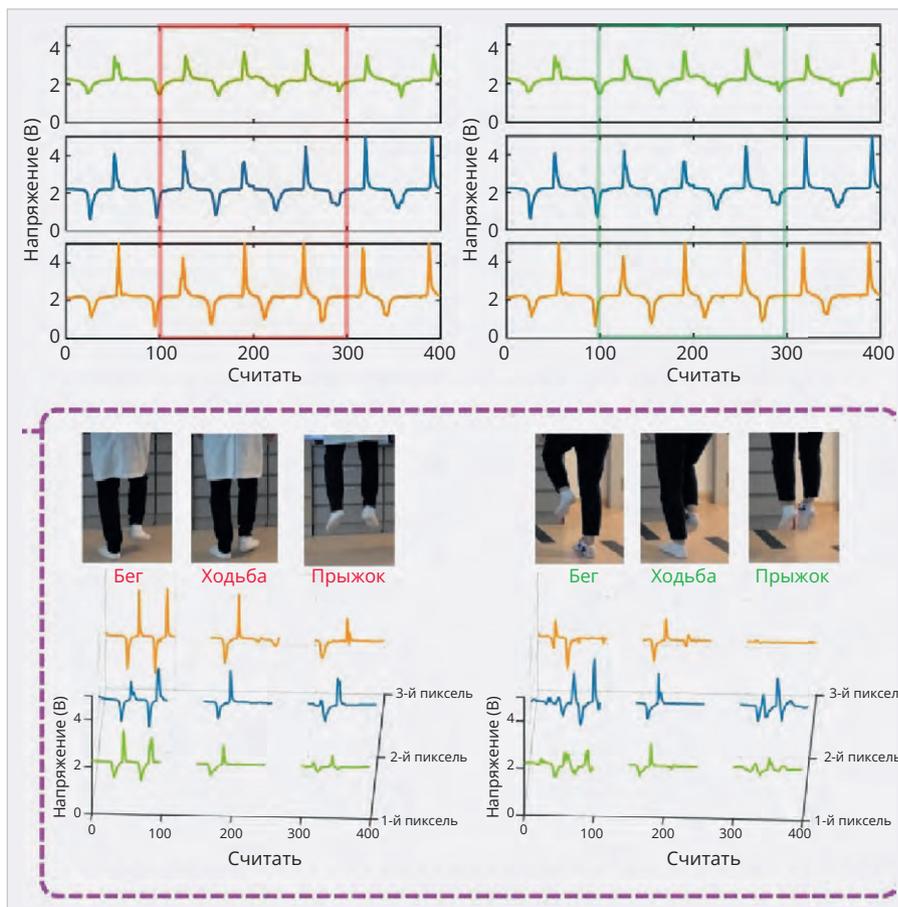


Рис. 17. Иллюстрация изменений состояния датчиков при разных воздействиях стопы на основе

ру длиной 15 м в течение примерно 600 секунд. Затем средние 500-секундные данные (16 000 точек данных в условиях стабильного стиля ходьбы) были сегментированы и дифференцированы. Для каждого участника эксперимента полученные данные были разделены.

Хотя электронное устройство с одним датчиком демонстрировало относительно хорошую точность дифференциации моделей походки участников, точность показаний датчиков может значительно снизиться по мере увеличения числа участников, поскольку отсутствует пространственно-временное обнаружение давления стопы каждого.

Использование даже небольшого датчика размером 3×3 см для получения и анализа выходных сигналов, полученных в разных точках стопы, показано на рис. 18.

Большее напряжение означает лучшую чувствительность для различения моделей походки разных людей; таким образом, разработчики выбрали несколько мест с наибольшим давлением для дальнейшего исследования. При прикреплении много-

пиксельной матрицы датчиков (не менее трёх) к интеллектуальному электронному устройству, последнее помогает в более сложном анализе походки и потенциально повышает точность измерений для большей группы участников.

Выходные сигналы датчиков показывают незначительную зависимость ввиду помех от ношения разной обуви, что демонстрирует хорошую стабильность и адаптивность интеллектуального устройства при мониторинге походки. Необходимо отметить, что все рассматриваемые исследования проводились неоднократно, многомерно и именно в горизонтальной плоскости воздействия стопы: без учёта данных, когда пользователь бежал в гору или, к примеру, вскарабкивался на отвесную стену в формате альпинистского туризма. В последних случаях данные могут быть другими или рекомендованными к уточнению будущими исследованиями.

Что касается электронного устройства с тремя датчиками, после применения того же метода сбора данных трибоэлектрические сигналы

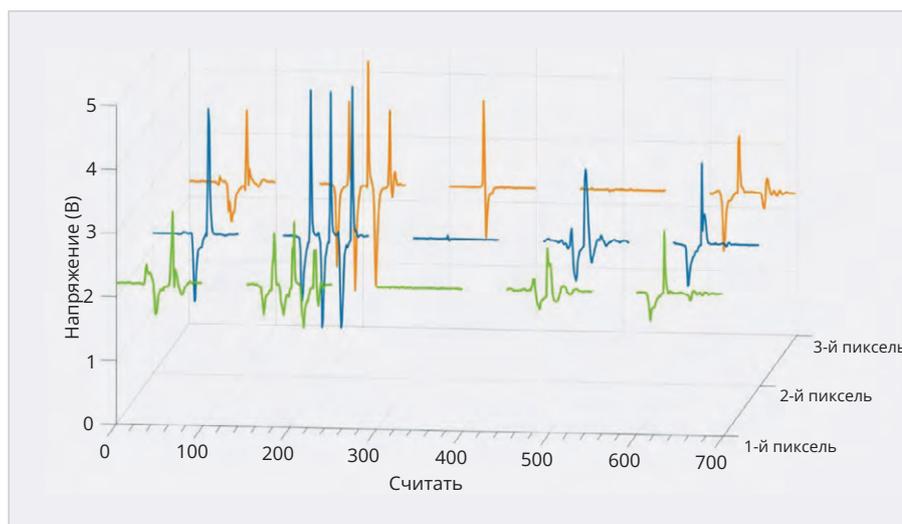


Рис. 18. График анализа выходных сигналов, полученных в разных точках стоп

с трёх каналов могут образовывать целый спектр данных и поступать на вход той же аналитической структуры CNN для классификации разных пользователей. Окончательная точность «интеллектуального носка» с тремя датчиками может достигать 100%, что на 4% лучше, чем у устройства с одним сенсором-датчиком. Поэтому чем больше количество датчиков, установленных в «электронном носке», стельке или подошве обуви, тем выше точность классификации обученной модели.

Для повышения точности системы распознавания разработчиками предложен метод 4-секундного скользящего измерения с 2-секундным перекрытием (паузой). Такой способ расширит ограниченный обучающий ИИ набор примерно в два раза по сравнению с предыдущим вариантом. С увеличением числа участников эксперимента обученный ИИ, анализирующий наборы данных от датчиков, имеет более высокую точность.

По состоянию на 2023 год выявлен набор данных из 13 индивидуальных шаблонов походки и с помощью вышеупомянутого метода достигнута высокая точность измерений 93,54%. Но из-за ограничения наборов данных точность незначительно снижается по мере увеличения числа участников реферативной группы, участвовавших в экспериментах. Эту проблему можно решить, расширив выборки обучающего набора, собрав больше данных о походке у нескольких участников.

Быстрое развитие технологий виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR) открывает

путь для разнообразного применения подобных устройств в социальных сетях, личном взаимодействии, хирургическом обучении, играх и других сферах. «Умный носок» с электронными датчиками TENG с поддержкой глубокого обучения ИИ как носимый НМИ может собирать и корректировать информацию о походке пользователей для создания сценариев виртуальной/дополненной реальности.

Система управления в реальном времени включает устройство с тремя датчиками TENG, модуль предварительной обработки сигнала, микроконтроллер с беспроводным передающим модулем, ПК и виртуальное пространство с соответствующим программным обеспечением, каким может быть ПО Unity.

Во-первых, когда пользователь движется, выходной сигнал трибоэлектрического датчика будет генерироваться, а затем поступать в микроконтроллер после прохождения схемы предварительной обработки. Схема предварительной обработки используется для фильтрации окружающего шума и устранения перекрёстных помех между различными каналами. Она в основном состоит из электронных модулей с несколькими функциями: смещения, усилителя и фильтра нижних частот. Затем микроконтроллер обнаружит эквивалентный аналоговый сигнал выходного напряжения и отправит данные всего спектра на ПК через беспроводную передачу. На основе полученного спектра сигналов обученная модель машинного обучения ИИ отправит соответствующие команды движения

в ПО Unity. В рассматриваемой разработке пока доступны пять движений по умолчанию, чтобы управлять виртуальным персонажем, включая прыжок, бег, скольжение, скачок и ходьбу.

После обучения модели на основе 1D CNN точность распознавания действий человека достигает 96,67% при 100 обучающих образцах для каждого движения, как показано на карте «ошибок».

ПО Unity получает команду прогнозируемого движения и преобразовывает её в движение виртуального персонажа. К примеру, когда появляется на пути персонажа виртуальной игры «куча дров», пользователь должен выполнить прыжок, чтобы перепрыгнуть её неповрежденным. В далёкие времена это можно было выполнить манипуляцией на клавиатуре или с помощью джойстика любого вида, включая манипулятор типа «мышь». Теперь такое движение реального персонажа, оснащённого носками, обувью или иной формы датчиками на ступнях, одновременно синхронизировано с движением виртуального персонажа в виртуальном пространстве. В игре пользователи могут выбрать формат бега или ходьбы по лесной тропе и гравийной дороге до следующего препятствия. Когда оказываются перед скалой и каменной пещерой, они должны выполнить движение прыжка и скольжения соответственно. Эта демонстрация VR хорошо иллюстрирует потенциал функции и возможности «интеллектуального электронного носка» с датчиками TENG для реализации передовых многофункциональных НМИ и разнообразных электронных приложений. В будущем интеллектуальная система на основе таких устройств будет дополнительно интегрирована с персональной системой мониторинга фитнеса, измеряющей и анализирующей данные о физической работоспособности во время VR-игры.

Распознавание жизнедеятельности человека с помощью «умных носков» показано на рис. 17 (выше).

Поскольку устройство с ИИ в непрерывном режиме способно распознавать и идентифицировать активность конкретного пользователя-человека, оно имеет большое значение в разработке интеллектуальной носимой системы, где движе-

ние всего тела и физические сигналы непрерывно контролируются по сигналам от электронных носимых датчиков. Такая система способствует быстрому развитию будущего «цифрового человека», где реалистичная цифровая копия человека может быть создана в виртуальном пространстве. Для простой демонстрации будущего применения означенной концепции разработана система умного дома, позволяющая автоматически отличать членов семьи от незнакомцев, а также осуществлять мониторинг в реальном времени действий членов семьи в помещении и в иной среде без видеокамер. Система умного дома может устанавливать протоколы беспроводной связи с интеллектуальными электронными устройствами нескольких пользователей одновременно. Сегменты собранных сигналов походки от пользователей отправляются в автоматизированном режиме на первый этап системы умного дома отдельно для распознавания личности пользователя. Да, выход трибоэлектрического датчика в разной степени восприимчив к изменениям окружающей среды, таким как влажность (и др.), что влияет на точность распознавания личности пользователя по движениям и походке.

Чтобы устранить помехи от окружающей среды, помогут аналитические базы данных – наборы данных пользователей, собранные за несколько дней или недель. Эти результаты также указывают на эффективность метода повышения надёжности трибоэлектрических датчиков, что до недавнего времени считалось одной из проблем для применения систем с T-TEG в практических приложениях. После распознавания личности на первом этапе сигналы походки членов семьи перейдут ко второму этапу мониторинга активности в реальном времени для вывода окончательной характеристики индивидуальной активности. Для построения индивидуальных классификаторов извлекаются три популярных активных действия (бег, ходьба, прыжки). Интегрируя обученную ИИ-модель идентификации и модель распознавания движения в сравнении с формой сигнала от стиля походки, получают соответствующий результат прогнозирования. Как дополнительный и отвлечён-

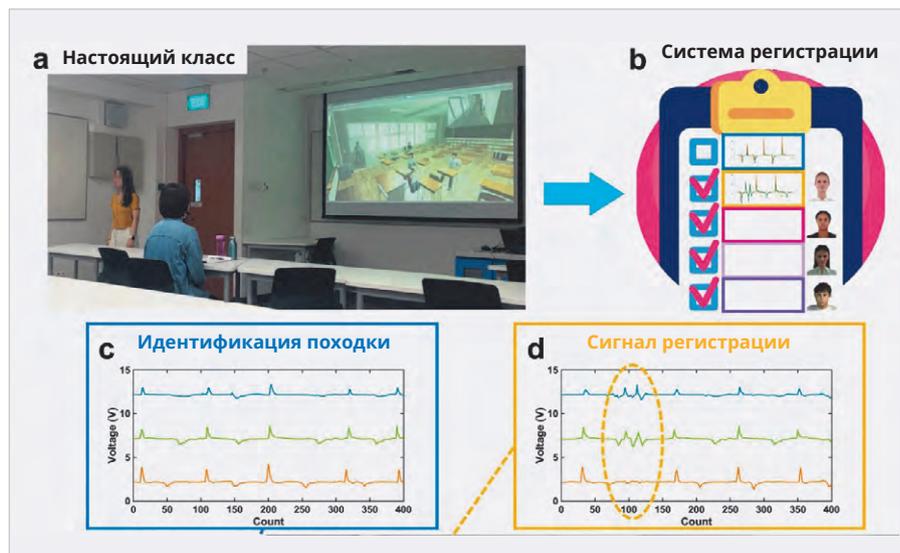


Рис. 19. Иллюстрации системы регистрации и эксперимента идентификации поз и движений с несколькими лицами:

- a, b – снимок экрана виртуального класса в Unity и демонстрация интерфейса системы регистрации;
- c – форма сигнала походки мужчины за пределами класса для идентификации походки;
- d – форма сигнала походки женщины, входящей в класс

ный (перспективный в ряде задач) вариант виртуальное пространство (ИИ) сгенерирует новую модель человека, которая выполнит те же действия, что и прогнозируемое движение походки реального персонажа.

Так электронная система обеспечивает выполнение задач идентификации, контроля и прогнозирования действий человека без применения видеокамеры как привычного уже аспекта конфиденциальности и безопасности умного дома. То есть является альтернативным средством комплексной идентификации и, как минимум, его перспективным компонентом.

Эта интегрированная система различных моделей глубокого обучения также может быть использована для будущей настройки интеллектуального класса. На рис. 19 демонстрируется система регистрации.

Все сигналы, полученные от вошедших в класс учеников, будут идентифицированы и отображены в системе. Как показано на рис. 19c, когда неизвестный ученик перемещается из-за пределов класса в класс, сигнал походки в реальном времени будет собираться и анализироваться системой для идентификации ученика. А ученики, входящие в класс, будут зарегистрированы в системе с помощью триггерного сигнала, как показано

на рис. 19d. Топнув ногой дважды, ученик будет синхронно с другими отображён в виртуальном пространстве. После этого можно определить, сидит ли ученик на сиденье или продолжает двигаться.

Система может не только регистрировать количество людей, участвующих в занятиях, но и отслеживать записи учеников, входящих и выходящих из класса. Кроме того, температура тела пользователя может быть определена с помощью встроенного температурного датчика и загружена на сервер вместе с информацией о походке, в этом случае температура тела всех зарегистрированных учеников в классе также будет контролироваться, обеспечивая более полный мониторинг личного статуса. Мониторинг температуры тела не только полезен для самого пользователя, но и помогает контролировать широкое распространение заразных заболеваний, которые могут вызывать лихорадку, как обнаруживаемый симптом. В результате, используя методы глубокого обучения, этот интеллектуальный носок может в итоге превратиться в решение для обеспечения более безопасной и более интеллектуальной среды, поскольку интеллектуальное здание не нуждается в поддержке со стороны камер и микрофонов (рис. 20).

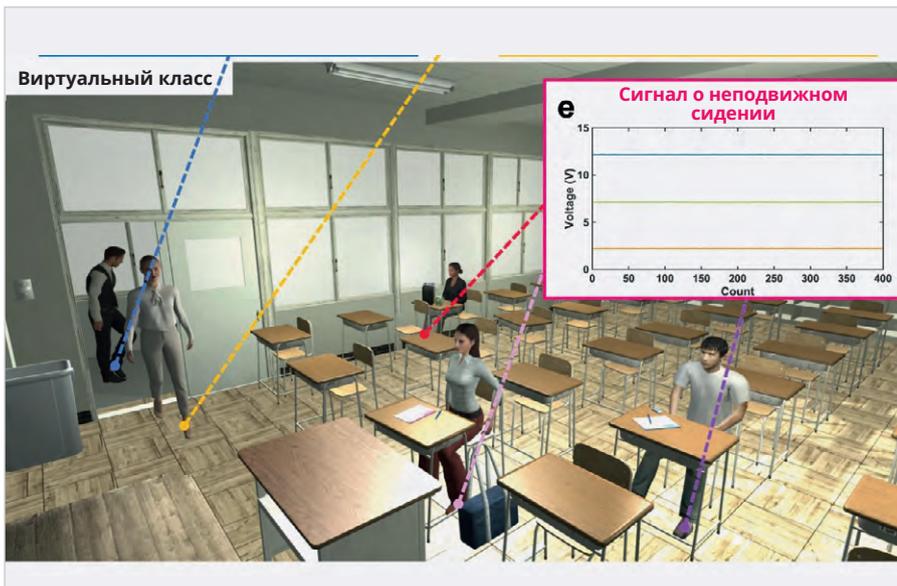


Рис. 20. Статичные сигналы сидения от слушателей в аудитории

## Перспективы разработки

Электронное устройство с поддержкой обучения ИИ на основе трибоэлектрических датчиков разработано с большим потенциалом и представляется недорогим и энергосберегающим решением для современного человека. Диапазон чувствительности трибоэлектрического датчика значительно улучшен с помощью структур усечённых по форме электродов в миллиметровом масштабе, нанесённых на контактную поверхность. Получая кинетическую энергию от движения стопы (обычной ходьбы), устройство зарядит конденсатор ёмкостью 27 мкФ за 3–4 минуты, что достаточно для поддержки модуля датчика Bluetooth IoT для передачи данных о температуре и влажности. Кроме того, с помощью сенсорного носка можно обнаруживать различные действия человека с точностью 96,67% [12]. Согласно источнику, продемонстрирована фитнес-игра виртуальной реальности (VR), где устройство испытывали в качестве интерфейса управления.

В проекции идентификации и мониторинга двигательной активности человека всё сказанное даёт перспективы к улучшению функционального применения устройства не только в приложениях для умного дома, но и для создания виртуальных манекенов с искусственно воспроизводимыми движениями: для испытаний, в том числе краш-тестов разного назначения. К примеру, это может быть анализ аварийной ситуации при столкновении человека и

автомобиля для выработки решений в пользу защиты человека, его жизни и здоровья.

## Изготовление трибоэлектрического текстильного датчика

Трибоэлектрический текстильный датчик содержит два слоя: слой генерации положительного заряда и слой генерации отрицательного заряда. Сначала материал разрезается на требуемые размеры и форму, которые изготавливаются из металлизированной ткани (полиэстер Cu), покрытой клеем. Для изготовления электрода (слоя) положительного заряда к одной стороне проводящего материала прикрепляется тонкая нитриловая пленка. Другой проводящий электрод покрывается с другой стороны плёнкой из силиконовой резины. Процесс нанесения покрытия заключается в том, чтобы сначала дозировать требуемые количества частей А и В EcoFlex™ 00-30 в смесительную ёмкость (1А:1В по объёму или весу), затем тщательно перемешивать смесь в течение 3 минут, а затем смешанный раствор залить в форму, напечатанную на 3D-принтере, после чего должно следовать 20-минутная выдержка при температуре +70°C для отверждения. Для датчика без поверхностных структур неотверждённая смесь непосредственно наклеивалась на проводящий текстиль для формирования плоской поверхности. Покрытый силиконовой резиной текстильный материал пришивался

к покрытой нитрилом основе не проводящей ток тканью для инкапсуляции.

## Экспериментальное измерение характеристика

Выходные сигналы при активации датчика T-TENG измерялись осциллографом DSO-X3034A с использованием высокоомного зонда 100 МОм. Калибровка выходного напряжения для трибоэлектрических датчиков проводилась с помощью динамометра Mecmesin, MultiTest 2.5-i со скоростью 600 мм/мин<sup>-1</sup>. Моделирование методом конечных элементов электрического потенциала между двумя трибоэлектрическими слоями (Eco-flex и Nitrile) численно рассчитывалось с использованием программного обеспечения COMSOL. Напряжение в динамике и ток короткого замыкания измерялись электрометром (модель 6514), а сигналы отображались и записывались с помощью осциллографа. Модуль Bluetooth для передачи данных датчиков температуры и влажности изготовлен из датчиков BLE (CYALKIT-E02) со встроенным датчиком температуры и влажности (Si7020-A20). Аналоговые сигналы напряжения генерируются устройством для мониторинга в реальном времени HMI в обработке аппаратной схемы, состоящей из платы микроконтроллера (ESP32-PICO-KIT V4). Для анализа полученных данных используется ПО MATLAB [12]. В целом устройство оснащено несколькими функциональными возможностями для сбора и преобразования электроэнергии в рамках IoT и распознавания походки, а также мониторинга активности человека. Дальнейшие исследования позволят получить более полную информацию о пользователях, начиная от их увлечений, социальных сетей, спортивной активности, статистики от умного дома и др.

## Выводы

Мы показали лишь некоторые примеры уже принятых в серию электронных устройств, разработки которых велись в 2020–2023 годах. В основном эти разработки зарубежного производства. Однако идеи могут использоваться и российскими разработчиками.

Методы искусственного интеллекта (ИИ) значительно усилят интел-

лект «носимой электроники» и уже предоставляют более надёжные решения для решения проблем и резонансных задач. Ранее традиционный метод анализа информации от сенсорных датчиков был ограничен из-за необходимости обрабатывать данные, основанные на неавтоматизированном анализе поверхностных признаков. Сочетание технологий ИИ с технологиями Интернета вещей привело к появлению искусственного интеллекта вещей (ИИ IoT) для поддержки надёжной связи между электронными носимыми устройствами и облачным сервером, что улучшает возможности прогнозирования в более сложной и динамичной системе. Это касается обеспечения мониторинга процессов в реальном времени, сезонного или запрограммированного анализа данных для предотвращения диагностики неисправностей, а также будущих обновлений приложений и разработок в данной области.

С помощью электронных датчиков рассмотренного вида уже удалось значительно повысить качество жизни людей, особенно с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ), а также многих других потребителей из медицински здоровых участников групп и сообществ, к примеру, спортсменов. Спортивная медицина с применением устройств современной электроники перспективно развивается. В будущем описанная электронная система станет ещё более гибкой, с интеграцией гибких печатных плат (ПП), что ещё заметнее улучшит комфортность ношения устройств. С интегрированной информацией, собранной с помощью устройства, и дополнительными электронными сенсорными датчиками и нейронными электродами созданная платформа является ещё одним шагом к реализации технологии «цифрового человека» с ИИ в ближайшем будущем.

Медицинская РЭА не только диагностирует и лечит, но и помогает в тестовых и исследовательских работах, НИОКР, когда идёт борьба развития конкурентных технологий в разных государствах. В том числе в направлении повышения продолжительности жизни человека. Из рассматриваемых примеров – оценка походки и позы человека для создания экзоскелета и носимый многорежимный датчик с беспроводной

интегрированной структурой для распознавания различных состояний движения суставов с помощью алгоритма глубокого обучения.

Проблемным местом для долгосрочного применения РЭА в WSN пока является большое общее потребление энергии. Для решения проблемы уже появились технологии сбора энергии из разных сред, в том числе от пота, выделяемого человеком при нагреве тела, повышения температуры или при активном движении. В первом случае эксперименты проводились в разных формах: от классической русской парной до финской и турецкой сауны (имеющих различия в том числе в температурном режиме), а также при нагреве с помощью ИК-воздействия. Об этом мы подробно поговорим в последующих статьях.

В этой связи разработчики РЭА в ведущих странах мира на основе передовых технологий активно разрабатывают носимые и, что немаловажно, экономичные и автономные электронные системы с потенциальной самодостаточностью. Развитие технологий уже идёт к следующему поколению интерфейсов человек-машина: от машинного обучения ИИ, улучшенного тактильного восприятия до нейроморфных сенсорных систем.

## Литература

1. Бария М., Найин Х., Джавей А. Носимые датчики пота. *Nat. Electron.* 1, 160–171 (2018).
2. Донг Б. и др. Носимая трибоэлектрическая / нитрида алюминия наноэнергетическая наносистема с самоподдерживающейся фотонной модуляцией и непрерывным измерением силы. *Adv. Sci.* 7, 1903–636 (2020).
3. Донг К., Пэн С., Ван З.Л. Пьезоэлектрические и трибоэлектрические наногенераторы на основе волокон/тканей для гибкой/растягивающейся и носимой электроники и искусственного интеллекта. *Adv. Mater.* 32, 1902549 (2020).
4. Ляо Д. и др. Арочный трибоэлектрический наногенератор для биомеханического зондирования с большим допуском сбора энергии. *Nano Energy* 69, 104417 (2020).
5. Мейер Д., Лукович П., Тростер Г. Текстильный датчик давления для мышечной активности и обнаружения движения. X Международный симпозиум IEEE по носимым

компьютерам, 69–72 (IEEE, Монтрё, Швейцария, 2006).

6. Он Т. и др. Автономная носимая текстильная наноэнергетическая наносистема (NENS) для медицинских приложений следующего поколения. *Adv. Sci.* 6, 1901437 (2019).
7. Сундарам С. и др. Изучение сигнатур человеческого захвата с использованием масштабируемой тактильной перчатки. *Nature* 569, 698–702 (2019).
8. Фарах Д., Баддур Н., Лемэр Э. Определение фазы походки по кинематике бедра с использованием методов машинного обучения. В материалах Международного симпозиума IEEE 2017 года по медицинским измерениям и приложениям (MeMeA), 263–268 (IEEE, Рочестер, Миннесота, 2017).
9. Фокин А. Носи носки. Восемь небанальных вариантов банального подарка. URL: <https://nplus1.ru/material/2023/12/30/new-year-socks>.
10. Хан И. и др. Самостоятельное распознавание личности на основе походки с помощью мягкой и растяжимой трибоэлектрической ленты. *Nano Energy* 56, 516–523 (2019).
11. Чен Л. и др. Управление поверхностным зарядом, генерируемым контактной электризацией: стратегии и приложения. *Adv. Mater.* 30, 1802405 (2018).
12. Чжан З., Хэ Т., Чжу М. и др. Трибоэлектрические интеллектуальные носки с поддержкой глубокого обучения для анализа походки на основе Интернета вещей и приложений виртуальной реальности. *Flex Electron* 4, 29 (2020). URL: <https://doi.org/10.1038/s41528-020-00092-7>.
13. Чжу М. и др. Автономный и самодифференциальный хлопковый носок с использованием пьезоэлектрического и трибоэлектрического гибридного механизма для медицинского и спортивного мониторинга. *ACS Nano* 13, 1940–1952 (2019).
14. Cai G. и др. Растяжимые датчики деформации на основе проводящих самовосстанавливающихся динамических сшитых гидрогелей для обнаружения движения человека. *Adv. Sci.* 4, 1600190 (2017).
15. Zixuan Z., Tianyi H., Minglu Z. Deep learning-enabled triboelectric smart socks for IoT-based gait analysis and VR applications. URL: <https://www.nature.com/articles/s41528-020-00092-7>.



НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

**Сможет ли ИИ когда-либо претендовать на Нобелевскую премию?**

Вполне возможно, что к 2050 году ИИ сможет значительно повлиять на научные открытия.

Если ИИ не возьмёт на себя вашу работу, он как минимум сможет взять на себя часть ваших обязанностей. Это оптимистичное видение становится всё более реальным с каждым годом, поскольку генеративный ИИ постепенно входит в повседневную трудовую жизнь миллионов людей по всему миру. Учёные уже могут облегчить свою рабочую нагрузку с помощью ИИ, а в будущем он может стать полноценным партнёром в научных исследованиях.

Вопрос, однако, остаётся открытым: может ли ИИ когда-нибудь выполнить все исследовательские задачи так, что станет равноправным соавтором научных открытий? И сможет ли ИИ вообще претендовать на премию, такую как Нобелевская?

Ответ на этот вопрос стал целью одного японского разработчика ИИ. И они не просто стремятся к каким-то абстрактным достижениям.

«Мы надеемся, что в будущем роботы с ИИ смогут достичь уровня Нобелевских лауреатов», – заявил доктор Йошитака Ушику, вице-президент Omron Sinic X.

Доктор Ушику рассказал о своих усилиях по созданию идеального партнёра по исследованиям на мероприятии Technology Networks «Лаборатория будущего 2025». Он подчеркнул, что для успешного научного процесса ИИ нужно не просто имитировать прошлые эксперименты, а овладеть настоящим научным методом.

Для достижения этой цели команда Omron разработала методику обучения ИИ через наблюдение за реальными научными процессами. Учёные, носившие камеры, позволяли ИИ видеть, как они проводят эксперименты, и затем связывали эти данные с лабораторными заметками. Так ИИ обучался генерировать гипотезы, выполнять эксперименты и анализировать результаты. Этот подход имеет большие перспективы, так как ИИ не просто повторяет действия, а начинает понимать суть научных рассуждений.

Одним из ярких примеров является ИИ, который, обучаясь в виртуальной среде, научился измерять и манипулировать веще-



ствами с точностью до миллиграмма. В другом случае ИИ был способен преобразовать инструкции на естественном языке в план эксперимента и успешно выполнить его.

Чтобы избежать ошибок, связанных с «галлюцинациями» ИИ (когда модели генерируют неверную информацию), команда сосредоточилась на создании системы, которая учится на реальных научных данных. Этот подход уже показал обещающие результаты.

Ушику и его команда рассчитывают, что к 2030 году ИИ сможет выполнять не только рутинные, но и более творческие задачи в научных исследованиях, такие как разработка новых экспериментальных протоколов. К 2050 году разработчики ставят себе цель создать ИИ, который будет проводить крупномасштабные эксперименты самостоятельно или в тесном сотрудничестве с учёными.



РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

**Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-...**

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 3,2 ... 485  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , мкФ, 1,0 ... 470 000  
 Диапазон температур среды при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 125



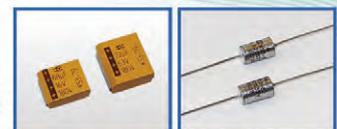
**Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-...**

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 3,2 ... 200  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , мкФ, 1,5 ... 60 000  
 Диапазон температур среды при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 175



**Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-...**

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 2,5 ... 63  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , мкФ, 0,033 ... 2 200  
 Диапазон температур среды при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 175



**Суперконденсаторы K58-...**

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 2,5 ... 2,7  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , Ф, 1,0 ... 4 700  
 Диапазон температур среды и эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 65



**Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ**

Номинальное напряжение,  $U_{ном}$ , В, 5,0 ... 48  
 Номинальная емкость,  $C_{ном}$ , Ф, 0,08 ... 783  
 Диапазон температур среды при эксплуатации,  $T_{ср}$ , °С -60 ... 65



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



Реклама

# Инновационные токопроводящие плёнки с элементами TFT как способ зарядки от теплового и вибрационного датчика QOT для носимых электронных устройств

Андрей Ласорла

Учёные многих стран мира работают над преобразованием энергии тепла в электрический ток с конца XIX века, когда контроль над электрическим током ощущался таким же прогрессом, как сегодня Интернет, цифровизация и ИИ. Гибкая РЭА применяется в различных областях, таких как панельные дисплеи, электронные датчики, шлейфы и устройства накопления данных, что стимулирует значительный интерес к новым материалам и технологиям их обработки. Сегодня за неполных два века можно говорить о том, что разработчикам удалось создать ультратонкую гибкую плёнку для подзарядки электронных устройств небольшой мощности на основе TFT, в частности, для подзарядки аккумуляторов смартфонов непосредственно от тепла тела человека. Такие электронные датчики пока размещают на кожном покрове, а в ближайшем будущем будут встраивать в умную одежду человека. В статье рассматриваются инновации в тонкоплёночных транзисторах (TFT), которые являются важнейшими компонентами, позволяющими создавать электронные схемы на гибких подложках, а разработка элементов TFT с высокой производительностью и с механической гибкостью для РЭА – предмет перспективных исследований.

Гибкие термоэлектрические устройства можно удобно носить на коже как почти незаметные и эффективные преобразователи в электричество – на основе разницы температур между человеческим телом и окружающим воздухом. Их также можно применять в ограниченном пространстве. Другие потенциальные области применения возможны от персонального терморегулирования, где тепло тела может питать носимую систему корректировки личного климата, вентиляции и кондиционирования воздуха. А это даёт значительный шаг вперёд в повышении качества и устойчивости жизнедеятельности человека в разных условиях, включая критические. К примеру, любители охоты, рыбной ловли, шахтёры, полярники, геологи или жители северных регионов в условиях сбоев отопления в холодное время года ранее применяли такие личные средства защиты от обморожения, как тёплая одежда, термобельё, термоноски, каталитические грелки на основе химической реакции и специальные плоские автономные источники тепла (рис. 1).

К неоспоримым преимуществам новейшей разработки относят высокие термоэлектрические характеристики, гибкость и масштабируемость в сочетании с низкой стоимостью, что делает генератор электроэнергии на основе плёнки одним из лучших гибких термоэлектриков среди доступных к изучению и совершенствованию. В последнее время легко сгибаемые или тонкие электронные устройства стали частью нашей повседневной жизни. Электронные устройства, такие как умные часы, сгибаемые экраны и носимые датчики, предлагают повышенное удобство и универсальность и, как ожидается, будут применяться в различных областях в будущем. Для разработки этих продуктов необходимы гибкие, но прочные электронные компоненты. В недавно презентованном технологическом процессе используют крошечные наносвязующие кристаллы, образующие сплошной слой листов теллурида висмута с итоговым повышением как проводимости электрического тока, так и гибкости материала. Открытые ранее термоэлектрики на основе теллурида висмута имели высо-

кие показатели эффективности в преобразовании тепла в электричество, что давало перспективу для маломощных приложений, таких как мониторы сердечного ритма, температуры или движения. Теперь использован сольвотермальный синтез с формированием нанокристаллов в растворителе при высокой температуре и давлении в сочетании с трафаретной печатью и спеканием. Метод трафаретной печати позволяет производить плёнки в больших масштабах, в то время как спекание нагревает плёнки почти до точки плавления, связывая их элементарные частицы надёжно и без потери упругости и гибкости готовой конструкции.

В изобретении и продвижении инновации отличилась совмещённая исследовательская группа из Квинслендского технологического университета – Мэтью Даргуш и профессор Цзинь Цзоу (Австралия), Университета Суррея (Великобритания) – профессор Гао Цин и исследовательская группа QUT DGIST (Институт науки и технологий Тэгу Кёнбук) – доктор Чан Бонг-хо и профессор Квон (рис. 2), а также их коллеги, специалисты исследовательского центра ARC по производству электроэнергии с нулевым уровнем выбросов для достижения углеродной нейтральности Школы химии и физики QUT и Центра материаловедения. Об этом стало известно в декабре 2024 года [1, 2, 7].



Рис. 1. Специальные плоские автономные источники тепла на основе химической реакции с воздухом



Рис. 2. Доктор Чан Бонг-Хо (слева) и профессор Квон из Института науки и технологий Тэгу Кёнбук

Группа исследователей разработала экономичную в реализации сверхтонкую и гибкую по форме технологию с помощью наноплёнок для питания носимых электронных устройств нового поколения, используя тепло тела человека и устраняя необходимость в привычных аккумуляторах. Материал синтезируют, затем печатают по трафарету и спекают в плёнку в нужном формате. Ранее созданные образцы были недостаточно гибкими, а их производство было дорогим.

### Особенности и польза

В гибких формах размещены тонкоплёночные полупроводники, способные сохранять высокую производительность при низких температурах – до  $-50^{\circ}\text{C}$ . Они могут работать на пластиковых подложках, в том числе складываемых, сворачиваемых, и при этом сохранять стабильную производительность при многократном механическом изгибе. За такими разработками будущее интеллектуальных устройств современной электроники. Тонкоплёночные транзисторы сделаны чрезвычайно тонкими и точными.

Многофазные процессы производства покрытия в жидком состоянии подходят для недорогого массового производства. Типичные материалы, созданные с применением «жидкофазной технологии», имеют большие преимущества с точки зрения высокой связанности с технологией печати. Однако есть ограничения: высокие температуры, необходимые для формирования превосходных тонких плёнок; их затруднительно применять на гибких подложках с низким термическим сопротивлением.

Ранее выбор материалов покрытия был ограничен высокими температурами, необходимыми для производства высококачественных тонких плёнок, что затрудняло его нанесение на гибкие подложки, такие как термочувствительные пластики. Поэтому исследователи сосредоточились на разработке новых методов синтеза производства для снижения температуры, но с сохранением высокой производительности. Для производства высокопроизводительных оксидных плёнок без повышения внешней температуры используется тепло, выделяемое внутри материала во время жидкостного процесса, – до  $+250^{\circ}\text{C}$ . Также новая высокопроизводительная пластиковая пена, разработанная на основе сывороточных белков, может выдерживать экстремальные температуры лучше, чем многие распространённые термопластики, изготовленные из нефти.

Так был разработан новый тип тонкоплёночного транзистора на пластиковой подложке. По результатам испытаний такой элемент продемонстрировал стабильную работу в тестах на изгиб в условиях более 5000 циклов. Поэтому датчик на основе тонкоплёночного полупроводника признан годным и перспективным для широкого применения в РЭА и носимых устройствах следующего поколения.

### Инновационные плёнки для высокопроизводительных TFT

Гибкие оксидные тонкоплёночные транзисторы (TFT) с использованием полупроводника  $\text{SnO}_2$  и диэлектрика High-k  $\text{ZrO}$  по старой технологии сформированы с помощью золь-гель-

процессов и воздействия горения. Способ предполагал экзотермическую реакцию топлива и окислителей для получения высококачественных оксидных плёнок без обширного внешнего нагрева. Плёнки, полученные с помощью горения, имели структуру с высокой долей кислорода, что способствовало низкому току утечки и не зависящим от частоты диэлектрическим свойствам. TFT, изготовленные на гибких подложках с использованием синтеза горения, имели неплохие электрические характеристики, включая полевую подвижность, подпороговый размах и соотношение между током включения и током выключения ( $1,13 \times 10^6$ ) при низком рабочем напряжении 3 В.

### Предтечи новой разработки

Среди нескольких полупроводниковых кандидатов для гибких TFT полимеры имеют ограничения из-за низкой подвижности и относительно плохой устойчивости к окружающей среде, вызванной свойствами воды и кислорода, несмотря на их низкую температуру обработки и стабильную механическую гибкость. Напротив, оксиды металлов считаются перспективными материалами для каналов TFT из-за высокой подвижности носителей (даже в аморфной фазе) и превосходной оптической прозрачности, приписываемой их уникальной орбитальной структуре и широким запрещённым зонам. Поэтому они были признаны привлекательными материалами для разработки приложений следующего поколения, таких как дисплеи с высоким разрешением и высокой частотой кадров, а также высокопроизводительная прозрачная и гибкая электроника. В частности, интерес к гибким оксидным TFT заметно возрос с разработкой гибких TFT с использованием  $\alpha\text{-IGZO}$ , что привело к значительным успехам в индустрии дисплеев с активной матрицей.

В последние несколько лет исследования новых оксидов металлов, не включающих редкие элементы In и Ga в  $\alpha\text{-IGZO}$ , при достижении более высокой подвижности TFT очень актуальны. Среди различных оксидов те, что на основе Sn, такие как  $\text{ITZO}$ ,  $\text{IGTO}$ ,  $\text{ZATO}$  и  $\text{SnO}_2$ , продемонстрировали хорошие электрические характеристики с высокой устойчивостью к условиям эксплуатации. С точки зрения обработки оксидные TFT совместимы с различными способами про-

изводства и изготовления, такими как центрифугирование, пиролиз распылением и системы печати, которые могут быть расширены за пределы традиционных вакуумных методов вплоть до растворения с использованием жидких золь-гель-прекурсоров. Это и обеспечивает преимущество в экономически эффективном производстве на больших площадях по сравнению с вакуумными системами, такими как распыление и атомно-слоевое осаждение.

Поскольку в производстве TFT используются жидкие прекурсоры, можно гибко манипулировать составом золь-гель-раствора для получения желаемых характеристик оксидных плёнок. Эти инновационные методы также распространяются на оксидные электроды. В случаях, когда требуются тройные соединения или легирование, к примеру, для оксидных электродов, можно комбинировать разные прекурсоры для синтеза раствора и изготавливать полностью обработанные раствором оксидные TFT. Несмотря на потенциал процессов в растворе, разложение органических лигандов в оксидных плёнках, обработанных золь-гель-методом, и плотная структура сетей оксидов металлов предполагают высокотемпературный процесс отжига при температуре 400°C или выше, что, как правило, несовместимо с производством гибких подложек [10].

Поэтому разработчики применяют разные способы, включая УФ- или лазерный отжиг, отжиг O<sub>2</sub> и воздействие водными растворителями для формирования оксидных плёнок, обработанных в растворе при низких температурах, что гарантирует качество плёнки и соответствует термическим требованиям к гибким подложкам.

Новая технология позволяет производить высококачественные оксидные плёнки при низких температурах без необходимости использования дополнительных систем. Кроме того, обеспечивает гибкость для изменения состава раствора или его интеграции с другими низкотемпературными методами изготовления для получения дополнительных эффектов. Материалы и ранее широко использовались в качестве диэлектрика затвора в оксидных TFT. При низких напряжениях возбуждения TFT элементы из-за низкой диэлектрической проницаемости – истончение диэлектрика затвора при уменьшении масштаба электронных устройств – характеризуются относи-

тельно высоким током утечки затвора. Это затрудняло их применение в гибких устройствах следующего поколения, требующих высокой производительности и низкого энергопотребления.

В качестве новых диэлектрических слоёв были предложены диэлектрики High-k, позволяющие снизить рабочее напряжение и накопление носителей высокой плотности за счёт высоких значений ёмкости. К примеру, оксиды High-k, обработанные золь-гелем, обеспечивают работу при относительно низком напряжении и разделяют производственный процесс с оксидными полупроводниками. Теперь из-за широкой зоны отклика и аморфного состояния элементов это привело к положительно-низкому току утечки затвора. Материал на основе ZrO<sub>2</sub> решено использовать в качестве изолирующего слоя в оксидных TFT для работы с низким энергопотреблением из-за высокой диэлектрической проницаемости (> 20), достаточной ширины запрещённой зоны (отклика) (~5,8 эВ) и электрической/химической стабильности.

Гибкие TFT демонстрируют различия в характеристиках в зависимости от размера. Элементы с более коротким проводящим каналом дают относительно сниженное сопротивление по сравнению с устройствами с более длинными каналами из-за влияния контактного сопротивления. Хотя устройства изготовлены из тех же материалов, по мере уменьшения длины канала сопротивление канала уменьшается, и, следовательно, доля контактного сопротивления в общем сопротивлении увеличивается. В результате эффективное падение напряжения на области канала изменяется: по мере уменьшения размера канала наблюдается уменьшение SS, что указывает на улучшение качества интерфейса между полупроводником и изолятором. Меньшие TFT могут иметь меньше дефектов в области интерфейса, что приводит к уменьшению захваченных электронов в местах ловушек интерфейса. Электрические характеристики изготовленных гибких TFT можно сравнить с вакуумными или обработанными в растворе гибкими оксидными TFT с диэлектриком High-k, а их подвижность полностью совместима с современными дисплеями с активной матрицей высокого разрешения.

Из последних достижений в области тонкоплёночных транзисторов на основе оксида олова для РЭА отметим, что созданы низковольтные высокопроизводительные тонкоплёночные транзисторы из оксида индия, олова и цинка на основе двухканального анодного оксида. Улучшена производительность и эксплуатационная стабильность тонкоплёночных транзисторов InGaSnO (IGTO), обработанных раствором, путём образования комплексов Sn–O. Методом магнетронного распыления созданы тонкоплёночные транзисторы на основе аморфного Zn-Al-Sn-O (без индия). Также среди перспективных методов – изменение источника энергии, селективная подача энергии в локализованные области и снижение температуры преобразования в оксиды. Синтез горения представляет собой химический процесс, который использует внутреннюю энергию, генерируемую в результате экзотермической реакции добавленного органического топлива и окислителя в прекурсор, что позволяет устранить органические остатки и способствует переходу к оксидным плёнкам даже при пониженных внешних температурах. А в описываемой инновации гибких тонкоплёночных транзисторов InGaZnO удалось повысить термоэлектрические характеристики плёнок на основе однослойных углеродных нанотрубок за счёт рациональной тройной обработки.

### Особенности синтеза основных материалов

Ранее плёнки SnO<sub>2</sub> успешно наносили при низких температурах с использованием синтеза горения и изготавливали TFT SnO<sub>2</sub> на Si/SiO<sub>2</sub> с улучшенными характеристиками TFT. Но термический анализ подтвердил, что внешняя температура, необходимая для преобразования прекурсора, составляла +250°C, что значительно ниже, чем у обычных прекурсоров. Поэтому новые TFT-элементы демонстрировали значительно улучшенные электрические характеристики по сравнению с обычными устройствами SnO<sub>2</sub>, при этом подвижность увеличилась примерно в 170 раз: с 0,014 до 2,43 см с обработкой золь-гелем в низкотемпературных процессах. Внешняя температура процесса, необходимая для формирования оксидной сетки, оценена с помощью термогравиметрического анализа (TGA). Различия в структурном и хими-

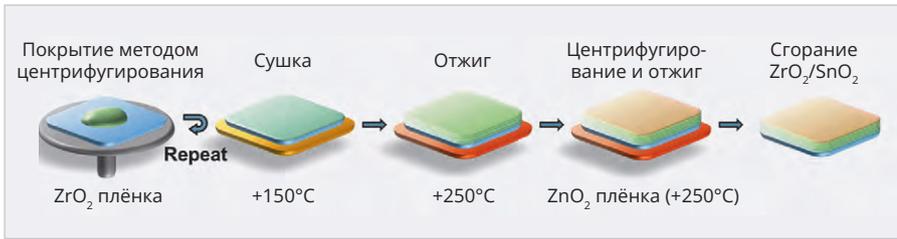


Рис. 3. Иллюстрация процесса формирования плёнок  $ZrO_2/SnO_2$  с использованием сжигаемых растворов

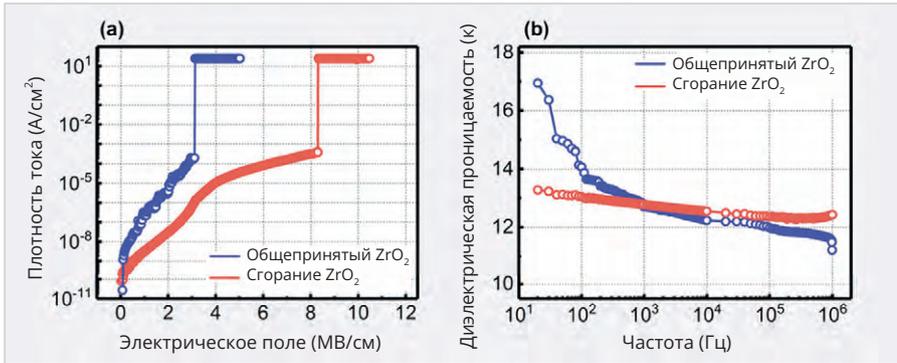


Рис. 5. Графики плотности тока утечки в зависимости от электрического поля. Слева (а) показан ток утечки в зависимости от электрического поля, справа (б) – диэлектрическая проницаемость

ческом составе полученных плёнок  $ZrO_2$  были подтверждены с помощью рентгеновской дифракции скользящего падения (GIXRD) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS). По мере уменьшения размеров устройства ухудшение электрических характеристик после испытаний на изгиб уменьшалось, и стабильная работа TFT наблюдалась даже после 5000 циклов испытаний на изгиб с радиусом изгиба 2,5 мм. Это связано с тем, что относительно небольшие устройства с меньшей вероятностью будут содержать структурные дефекты или микротрещины, вызванные механическим напряжением [1].

На рис. 3 показан эволюционный процесс формирования плёнок из растворов под воздействием плавления. Синтез горения требует меньше внешнего источника энергии для разложения органических лигандов и построения оксидных решёток из-за внутренней энергии, генерируемой экзотермическими реакциями, по сравнению с обычной системой  $ZrO_2$ . Следовательно, такие плёнки можно изготавливать при более низких температурах.

Структурные характеристики плёнок, используемых в качестве диэлектрика в транзисторах, оказывают значительное влияние на ток утечки затвора изготовленных устройств.

В частности, в поликристаллических диэлектрических слоях границы зёрен могут приводить к диффузии ионов и действовать как пути утечки, потенциально способствуя значительному увеличению тока утечки. Исследователями также установлено, что токопроводящие плёнки демонстрируют незначительные пики, связанные с моноклинной структурой в диапазоне 50–60°C [5].

Некоторые улучшенные характеристики токопроводящих плёнок основываются на анализе ТГА, показывающем, что преобразование прекурсоров в процессе сгорания происходит при значительно более низких температурах по сравнению с обычной технологией производства (аналогами) токопроводящих плёнок, менее гибких и разработанных ранее [8]. Разница температур предполагает снижение потребности во внешней энергии во время конверсии оксида из-за внутренней энергии, генерируемой экзотермической реакцией прекурсоров горения. Используя температуру конверсии, полученную из термического анализа в качестве эталона, мы определили, что эффективное преобразование в плёнки  $ZrO_2$  может происходить уже при +250°C аналогично технологии изготовления плёнок на основе  $SnO_2$  (в ранних технологиях необходимая температура при производстве

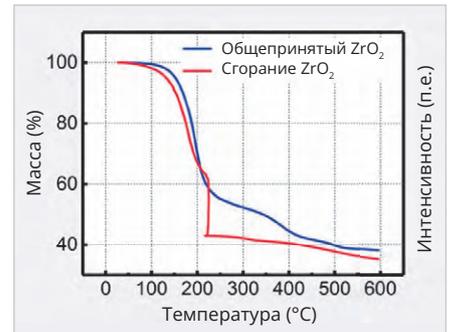


Рис. 4. Эволюция зависимости и конверсия разницы производства старых и новых типов токопроводящих плёнок

плёнок превышала 400°C). Эту условную эволюцию зависимости и конверсию разницы производства старых и новых типов токопроводящих плёнок демонстрирует рис. 4.

### Диэлектрические свойства токопроводящих плёнок

Изолятор из кремния – металл-изолятор-кремний (MIS) – изготовлен для исследования влияния синтеза горения на диэлектрические свойства токопроводящих плёнок  $ZrO_2$ . В отношении диэлектрических свойств токопроводящих плёнок имеет значение зависимость механической гибкости (деформации) не только от условий воздействия и среды, но также от частоты воздействия и частоты электрического сигнала.

На рис. 5 представлены два графика плотности тока утечки в зависимости от электрического поля как для обычных (ранее разработанных на относительно твёрдой подложке), так и для новейших токопроводящих плёнок на основе  $ZrO_2$ . Обычные токопроводящие плёнки характеризуются полем пробоя ~3,1 мВ/см и плотностью тока утечки ~ $2,82 \times 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup> при 1 мВ/см. Однако новые разработки, рассматриваемые в настоящей статье, полученные путем синтеза горения, демонстрируют значительное увеличение поля пробоя до ~8,3 мВ/см, что примерно в 2,7 раза выше, и существенное снижение плотности тока утечки до ~ $3,06 \times 10^{-9}$  А/см<sup>2</sup>, что примерно составляет 1/100 от предыдущего значения, при 1 мВ/см. Проиллюстрированы (рис. 5) статистические результаты и подробные значения диэлектрических постоянных в зависимости от частоты воздействия: кривые диэлектрической проницаемости в зависимости от частоты и изменение диэлектрической проницаемости в

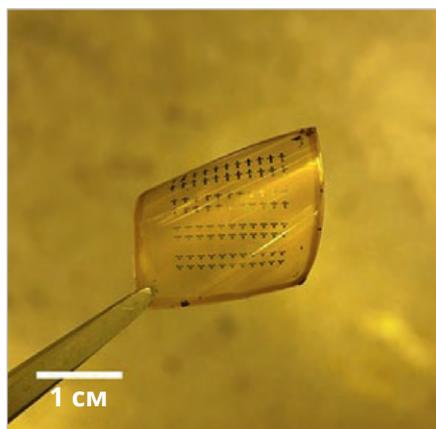


Рис. 6. Элементы фотоструктурированных плёнок  $ZnO_2$  и структуры MIS

зависимости от частоты воздействия на плёнки нового образца.

Эти значения можно сравнить с ранее разработками на основе испытаний в условиях вакуума оксидными диэлектриками с очень хорошими изолирующими свойствами [3, 5]. Так, токопроводящие плёнки старых разработок в испытаниях показали высокую частотную зависимость диэлектрической проницаемости, особенно в диапазоне НЧ от 20 до 103 Гц. А плёнки  $ZnO_2$ , полученные методом горения, показывают диэлектрическую проницаемость  $13,22 \pm 0,43$  при частоте 20 Гц и стабильное распределение диэлектрических проницаемостей во всём диапазоне частот от 20 до 106 Гц. Уменьшение диэлектрической проницаемости во всём диапазоне частот составляет 7,6% для плёнок, полученных методом горения, тогда как для обычных плёнок оно составляло 33,78%. Это является заметной разницей.

Обычные токопроводящие плёнки соотносят с зависимостью от высокой частоты импульсов (изменяющие свойства токопроводимости при изменении частоты воздействия), что также учитывают разработчики РЭА при конструировании модулей. Высокая диэлектрическая проницаемость токопроводящих плёнок на низких частотах объясняется относительно высоким соотношением М-ОН в материале, а это способствует поглощению полярных молекул воды [6].

После применения метода вакуумного осаждения можно сделать вывод о том, что низкая плотность тока утечки и независимые от частоты диэлектрические постоянные делают новые плёнки перспективными для использования разработчиками РЭА по харак-

теристикам изоляции и диэлектрической постоянной.

Увеличение тока утечки, связанное с границами проводящих областей, может быть смягчено присутствием аморфной фазы. Благодаря сочетанию свойств плёнки на основе  $ZnO_2$ , полученные методом горения, обладают улучшенными диэлектрическими свойствами по сравнению с обычными плёнками, отожжёнными при температуре  $+400^\circ\text{C}$ .

### Электрические характеристики и особенности новейших токопроводящих плёнок

TFT работают при низком напряжении возбуждения 3 В с низким током утечки затвора примерно  $10^{-9}$  А, демонстрируя пригодность для работы оксидных TFT при низком напряжении благодаря присутствию аморфной фазы и оксида. Самая низкая частота, которую исследователи смогли измерить, составляет 20 Гц. Высокочастотная зависимость, типично наблюдаемая в диэлектрических проницаемостях из-за гидроксильных групп и подвижных ионов в обработанном раствором диэлектриках, может привести к переоценке подвижности в TFT с диэлектриками High-k.

Подвижность оксидных TFT может быть получена путём умножения подвижности, полученной с помощью обычных методов, на масштабный коэффициент. Масштабные коэффициенты для рассматриваемого типа токопроводящих плёнок составляют 0,59 при низком  $V_{gs}$  и 0,89 при высоком  $V_{gs}$  (напряжение гистерезиса) соответственно. Морфология поверхности плёнок, полученная с помощью измерений атомно-силовой микроскопии (АСМ), эти выводы вполне подтверждает, как и среднеквадратичная шероховатость (RMS) при толщине плёнок 0,563 нм, что указывает на очень гладкую поверхность.

Условная гладкость поверхности элемента помогает улучшить движение электронов (носителей) и одновременно предотвращает ухудшение характеристик проводимости устройства, вызванное проникновением на границе диэлектрик-полупроводник.

Как важная электрическая характеристика, стабильность также является решающим фактором в производительности TFT и учитывается при практическом использовании обра-

ботанных в растворе оксидных TFT. При положительном напряжении смещения (PBS) и отрицательном напряжении смещения (NBS) сдвиг под воздействием времени будет разным. В течение времени напряжения 3600 с, рассматриваемого для мониторинга стабильности большинства оксидных TFT, новые токопроводящие плёнки показали сдвиг  $+0,22$  В при PBS и  $-0,18$  В при NBS. Таким образом, сдвиг  $V_{th}$ , вызванный NBS, относительно меньше по сравнению с PBS. Как видно на рис. 5, это связано с открытыми слоями  $SnO_2$  изготовленных устройств. В отличие от NBS, где в первую очередь испытывается влияние на границе диэлектрик-полупроводник, PBS вызывается дополнительным воздействием кислорода, поглощаемого через обратный канал в условиях окружающей среды.

### Процесс изготовления гибких TFT-транзисторов

Для производства устройств MIS растворы наносились методом центрифугирования на сильно легированный p-ионом кремний (Si) при вращении 3000 об/мин в течение 50 с, после чего следовала минутная сушка при температуре  $150^\circ\text{C}$  для формирования токопроводящих слоёв. В исследованиях этот процесс повторялся неоднократно для контроля и наращивания толщины слоёв. Перед нанесением покрытия пластины Si подвергались 10-минутной обработке УФ/озоном для контроля поверхностной энергии. В результате площадь верхних электродов составляет всего  $120 \text{ мкм}^2$  при толщине 50 нм. Перед процессом отжига производилось механическое удаление плёнок покрытия вдоль нанесённых электродов для уменьшения краевых токов и токов утечки. Детали фотоструктурированных плёнок  $ZnO_2$  и структуры MIS показаны на рис. 6.

Гибкие TFT  $ZnO_2/SnO_2$  изготавливаются на подложках PI. Перед нанесением покрытия PI поливиниловый спирт (PVA) использовался в качестве жертвенного слоя на подложке-носителе для облегчения отсоединения PI. Раствор, приготовленный путём растворения 0,1 г PVA в 40 мл DI-воды, наносился методом центрифугирования на подложку-носитель при 2000 об/мин в течение 30 с, а затем высушивался при  $110^\circ\text{C}$  в течение 90 с.

Поверхность токопроводящей плёнки, отожжённая поверх буферного слоя,

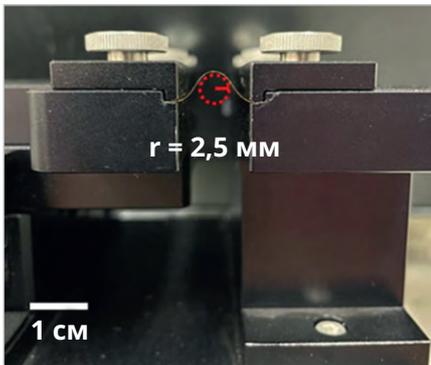


Рис. 7. Изображение гибких TFT в изогнутом состоянии для испытаний на механическую нагрузку

без деформации и трещин показана на рис. 6. В TFT с нижним затвором обязательным условием к производству затворного электрода является адгезия с гибкой подложкой.

В качестве нижнего затворного электрода выбран Cr. Затем  $ZrO_2$  и  $SnO_2$  были нанесены в качестве диэлектрического и полупроводникового слоёв соответственно, а Cr (50 нм) был нанесён в качестве S/D электродов для изготовления TFT с нижним затвором и верхним контактом. Для подтверждения эффекта масштабирования размеры гибких каналов TFT испытаны при разной толщине и растяжимости (W/L) L = 100, 50 и 20 мкм. После процесса плёнка PI была погружена в DI воду для растворения PVA и отслоения его от несущей подложки.

Механическая стабильность гибких TFT-дисплеев определяется следующим. Для гибких TFT важно иметь стабильные электрические характеристики при механическом напряжении. Чтобы сравнить механическую гибкость, изменяющуюся в зависимости от размеров устройства, исследователи применили повторяющееся растягивающее напряжение с радиусом изгиба 2,5 мм в течение 5000 циклов к гибким TFT, как показано на рис. 7, и затем наблюдали изменения в их электрических характеристиках.

### Характеристики процесса изготовления новейших токопроводящих плёнок и тонкоплёночных полупроводников

Положение нейтральной плоскости составляет примерно 26,93 мкм от низа сложенных плёнок. Деформация в месте расположения TFT составляет приблизительно 0,53% при радиусе изгиба 2,5 мм [4].

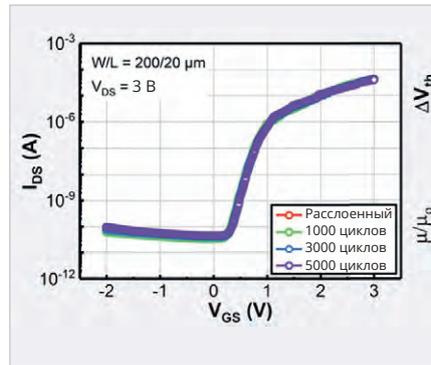


Рис. 8. Электрические характеристики гибких TFT-транзисторов

Гибкие TFT  $ZrO_2/SnO_2$  (параметр W/L = 200/20 мкм) продемонстрировали устойчивые электрические характеристики в изменениях площади растяжения с  $26,16 \pm 1,73 \text{ см}^2/\text{Вс}$ ,  $SS - 0,125 \pm 0,005 \text{ В/дек}$  и  $Ion /Ioff 1,13 \times 10^6$ , по сравнению с устройствами аналогичного назначения, но изготовленными на жёстких подложках. Это улучшение можно объяснить увеличенной инжекцией носителей заряда из-за изменения конфигурации гибких TFT на затвор (верхний контакт), в отличие от структуры нижнего контакта затвора, используемого в TFT, изготовленных на жёстких подложках. Более гибкие элементы TFT показывают значительный сдвиг по сравнению с TFT на жёстких подложках и работают надёжнее. Чтобы прояснить изменения в режимах работы, обратим внимание на рис. 7, а диаграммы энергетических зон затвора и диэлектрика представлены на рис. 8, 9.

На рис. 8 показаны некоторые передаточные характеристики тонкоплёночных транзисторов при изгибающем напряжении в течение 5000 циклов при радиусе 2,5 мм, изменяющемся в зависимости от L = 20 мкм. На рис. 9 показаны те же характеристики при толщине подложки 100 мкм при сохранении одинаковых условий при циклах изгиба.

При исследовании механических свойств TFT и сравнении электрических характеристик до и после испытания на изгиб уделялось особое внимание эффекту масштабирования. Как видно из графика рис. 9, TFT с наибольшими размерами каналов (1000/100 мкм) демонстрируют снижение тока включения вместе со сдвигом кривой передачи во время циклов изгиба. Устройства большого размера демонстрируют заметное снижение

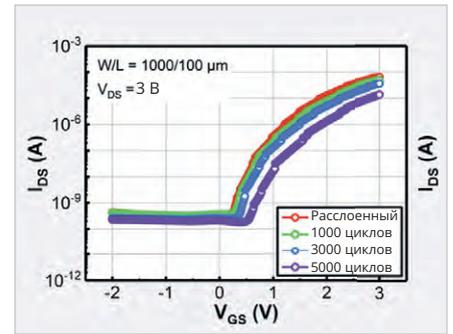


Рис. 9. Те же характеристики при толщине подложки 100 мкм при сохранении одинаковых условий при циклах изгиба

и явный положительный сдвиг  $V_{th}$  во время испытаний на изгиб. После 5000 циклов он смещается положительно с 1,27 до 1,65 В, а уменьшается до 46% от своего исходного значения, в то время как параметр SS увеличивается с 0,148 до 0,154 В/дек. Повторяющиеся циклы изгиба вызывают структурные дефекты или микротрещины в таких областях, как интерфейс затвора диэлектрик-полупроводник или интерфейс затвора электрод-затвор-диэлектрик, где концентрируется напряжение. Такие изменения можно объяснить структурными дефектами, вызванными напряжением материалов.

Положение уровня Ферми (EF) в пределах энергетической зоны токопроводящей плёнки оценивалось с использованием ширины запрещённой зоны, полученной из спектров УФ-видимой области. На рис. 10, 11 показаны состав и структура соответственно старых и новых токопроводящих плёнок и эволюция гибких полупроводников. Электроды с меньшей вероятностью будут образовывать микротрещины под механическим изгибающим напряжением, тем самым дополнительно улучшая механические свойства TFT.

По мере уменьшения размеров устройств изменения в характеристиках передачи и основных параметрах TFT заметно уменьшаются. В частности, маленькие по формат-фактору элементы (200/20 мкм) продемонстрировали надёжную механическую стабильность даже при повторяющемся изгибающем напряжении, а также превосходные характеристики TFT.

Результат можно объяснить разной нагрузкой выхода электрода затвора в гибких TFT по сравнению с изготовленными на жёстких подложках, а также структурным изменением контакта нижний затвор – верхний затвор,

что приводит к увеличению инжекции носителей. Так, исследователи подтвердили эффект масштабирования на механические свойства TFT, сравнив электрические характеристики через повторяющиеся циклы изгиба. По мере уменьшения размеров устройства изменения в характеристиках передачи и ухудшение характеристик после испытаний на изгиб уменьшались. Это связано с тем, что относительно небольшие устройства с меньшей вероятностью будут содержать структурные дефекты или микротрещины, вызванные механическим напряжением. Кроме того, самый маленький TFT продемонстрировал надёжную механическую стабильность, выдержав 5000 циклов испытаний на изгиб при радиусе изгиба 2,5 мм. Поэтому синтез горения может быть использован в качестве подходящего процесса для массового производства электронных и гибких устройств на основе золь-гель-процесса на основе оксида металла.

## Выводы

Прорывные технологии решают актуальные технические задачи по созданию гибких термоэлектрических устройств, преобразующих тепло тела человека в электроэнергию. Разработка электронных датчиков-преобразователей температуры, движения и потоотделения кожного покрова человека в электрический ток, созданная в форме гибкой плёнки, сможет заменить привычные аккумуляторы смартфонов, а с применением эффекта Пельтье даже обеспечить внутреннее охлаждение электронных чипов и микросборок электронных устройств. Рассмотренная в статье разработка имеет ценность не только как отдельная технология, но и как метод создания и совершенствования устойчивых в разных средах и условиях автономных источников энергии для носимой электроники, что, несомненно, способствует более эффективной и долговременной работе смартфонов и носимого компьютерного оборудования. Особенная перспектива видится в изучении и последующих разработках в области термоэлектрической технологии на основе селенида серебра, поскольку он потенциально дешевле и устойчивее традиционных материалов. В данном случае гибкость материалов показывает широкие возможности. Так мы ещё и приблизились к практике применения носимых электронных устройств, получающих энергию от тепла тела.

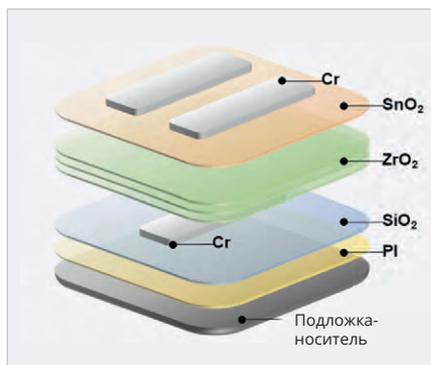


Рис. 10. Состав и структура токопроводящих плёнок с относительно твёрдой подложкой ранней разработки

Функциональные и свободные (гибкие) по форме дисплеи являются важнейшими компонентами для технологического совершенствования носимой РЭА, робототехники и человеко-машинных интерфейсов. Так, подложка для снятия напряжений помогает OLED-дисплеям растягиваться в двух измерениях [8]. Среди новых разработок также высокопроизводительный и компактный вибрационный (пьезоэлектрический) сборщик энергии для самозаряжающихся носимых устройств на основе микро-электромеханической системы (МЭМС), диаметр которого составляет всего около 2 см, а усиление вибрации выполнено из металла. Новая эра двумерных сегнетоэлектрических материалов со слоистыми ван-дер-ваальсовыми кристаллическими структурами открылась в третьем десятилетии XXI века, и уже создан новый класс материалов, представляющий большой интерес для РЭА будущего.

## Литература

1. Бонхо Джанг, Хёк-Джун Квон и др. Низкотемпературные плёнки  $ZrO_2/SnO_2$  для высокопроизводительных гибких тонкоплёночных транзисторов. *Npj Flexible Electronics*, 2024; 8 (1). URL: <https://www.nature.com/articles/s41528-024-00362-8>.
2. Володина Е. Учёные разработали плёнку, которая может заряжать смартфоны от тепла тела. URL: <https://knife.media/uchyonye-razrabotali-plyonku-kotoraya-mozhet-zaryazhat-smartfony-ot-teplata/>.
3. Джанг Б., Квон Х.-Дж. и др. Модуляция барьера Шоттки тонкоплёночных транзисторов с нижним контактом с помощью синтеза горе-

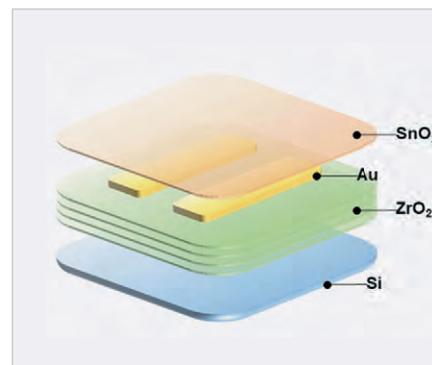


Рис. 11. Эволюция гибких полупроводников: структура инновационных токопроводящих плёнок

ния на основе хлорида. *J. Mater. Sci. Technol.* 148, 199–208 (2023).

4. Джанг Б., Ким Дж., Квон Х.-Дж. и др. Стабильное поведение переключения низкотемпературных устройств RRAM на основе  $ZrO_2$ , реализованное с помощью фототаблонирования с помощью синтеза горения. *J. Mater. Sci. Technol.* 189, 68–76 (2024).
5. Джанг Б. и др. Низкотемпературный процесс растворения с использованием горения для высокопроизводительных тонкоплёночных транзисторов  $SnO_2$ . *Ceram. Int.* 48, 20591–20598 (2022).
6. Релиз новой разработки токопроводящих плёнок. URL: [www.sciencedaily.com/releases/2024/12/241212145818.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2024/12/241212145818.htm).
7. Сгибаемые электронные детали нагреваются сами по себе, как «тепловой пакет», и снижают температурный барьер производства. *ScienceDaily*, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology. URL: [www.sciencedaily.com/releases/2024/12/241202124236.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2024/12/241202124236.htm); URL: [https://www.dgist.ac.kr/prog/bbsArticle/BBSMSTR\\_00000000188/view.do](https://www.dgist.ac.kr/prog/bbsArticle/BBSMSTR_00000000188/view.do).
8. Хоссейни М., Навроцкий Р.А. Обзор развития тонкоплёночных транзисторов и их технологий для гибкой электроники // *Микромашины*. 2021. № 12. С. 655.
9. Чэнь В., Мэтью Даргуш М., Цин (Макс) Лу и др. Наносвязки продвигают гибкие термоэлектрики, напечатанные методом трафаретной печати. 2024.
10. Breakthrough brings body-heat powered wearable devices closer to reality. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2024/12/241212145818.htm>.



НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

**Автоматический ввод резерва (ABP) REM**

Производственная группа REMER представляет новую продуктовую линейку – PDU с автоматическим вводом резерва (ABP). Оборудование разработано подразделением «REMER автоматизация», специализирующимся на разработке интеллектуальных устройств. Блок ABP предназначен для бесперебойного электроснабжения IT-оборудования через один блок питания с двумя независимыми вводами.

ABP REM в случае потери напряжения на основном вводе или отклонении параметров сети за допустимые пределы автоматически переключает питание на резервный ввод. Переключение с одного ввода на другой происходит в течение 12...14 мс и не прерывает работу подключённого оборудования. ABP полностью построен по цифровой схеме с двумя гальванически изолированными блоками питания и блоком коммутации из восьми реле. В качестве приоритетного может быть назначен любой из вводов, либо может быть установлен режим AUTO, в котором ввод, используемый в настоящий момент, считается приоритетным. Настройка

и управление осуществляются локально через встроенный OLED-дисплей с клавиатурой, через интерфейс RS-485 по протоколу Modbus-RTU, а также удалённо при подключении ABP к интеллектуальному PDU REM. Индикация режима работы ABP осуществляется при помощи светодиодной мнемосхемы питания. На основном экране ABP отображаются значения входных напряжений, тока и мощности нагрузки на выходе, обозначены активный и приоритетный вводы. Для визуальной оценки качества электроэнергии на дисплей можно вывести осциллограммы напряжения на вводах.

В случае аварийного отключения нагрузки на экране отображаются сообщение об аварии, код ошибки и время, прошедшее с момента отключения нагрузки.

Линейка ABP стандарта 19" представлена однофазными моделями на 16 А с различными типами ввода питания (два шнура длиной 1,8 м с вилкой Schuko или два разъёма C20 на лицевой панели) и комбинациями розеток различных типов (Schuko, C13 и C19).

ABP можно использовать для работы с бюджетными источниками бесперебойного питания (ИБП):



- с выходным напряжением в форме модифицированной синусоиды (трапеции);
- со схемой bypass на выходе, кратковременно прерывающей питание при переходе на батарею.

Стандартные варианты применения:

- ввод А (трансформаторная линия) – ввод В (генераторная линия);
- ввод А (трансформаторная линия) – ввод В (трансформаторная линия).

На заказ могут быть изготовлены модели с многочисленными дополнительными опциями.



Промышленный **ТЕХНОПАРК**

**Производство, разработка и поставка постоянных резисторов, аттенюаторов и чип-индуктивностей:**

- Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт – 2000 Вт)
- Аттенюаторы ПР1-25 (от 50 Вт – 2000 Вт)
- ТПИ – тепловые чип-перемычки
- СВЧ-резисторы
- Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)
- Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 Вт)
- Наборы резисторов НР1-82
- Чип-резисторы Р1-8В (А, И, С) соответствуют требованиям стандарта АЕС-Q200

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



Реклама

Связаться с нами: **8 800 444 30 99**

г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6  
e-mail: info@erkonpark.ru

erkonpark.ru

# Современная электроника и искусственный интеллект

## Часть 1. Что такое искусственный интеллект, и что он может

Виктор Алексеев

Проявления искусственного интеллекта (ИИ) мы замечаем всё чаще как в повседневной жизни, так и в самых различных областях науки, техники, медицины, транспорта и т.д. Общая цель нескольких частей этой статьи заключается в том, чтобы попытаться объяснить, с одной стороны, какую роль играет современная электроника в ИИ, а с другой – как развитие современной электроники влияет на прогресс ИИ. В первой части статьи простыми словами рассказано, что такое ИИ, и как он работает. На основе анализа статей ведущих экспертов в области искусственного интеллекта автор постарался выделить несколько наиболее крупных фирм, продукция которых представляется наиболее перспективной. В первой части приведён краткий обзор больших языковых моделей (LLM) этих фирм. В следующей части статьи планируется рассмотреть специализированные модели искусственного интеллекта.

### Современный искусственный интеллект

В последнее время наблюдается стремительный рост различных приложений на базе так называемого искусственного интеллекта – ИИ (Artificial Intelligence – AI), сопровождаемый многочисленными дискуссиями на тему «хорошо это или плохо».

Для того чтобы ответить на этот вопрос, прежде всего нужно постараться определить, что означает сам термин «Artificial Intelligence».

Считается, что термин «Artificial Intelligence» впервые был официально введён Джоном Маккарти в 1956 году на конференции в Дартмутском колледже, хотя концептуальные основы этого научного направления были заложены ранее, в первую очередь благодаря работам Алана Тьюринга [1].

В те годы термин «Artificial Intelligence – AI» однозначно определял конкретные

инструменты и программы, облегчающие решение определённых задач, например, компьютер на транзисторах (NCR-304, 1957).

С течением времени AI постепенно развивался, позволяя решать всё более сложные задачи: от чат-ботов, отвечающих на простые вопросы, до мощных систем, управляющих производством (рис. 1).

В переводе на русский английский термин «Intelligence» имеет множество различных значений, среди которых можно отметить следующие: разум; нечто, обладающее разумом; умственные способности; логико-информационные возможности; способность анализировать предоставленную информацию. Обобщая эти значения, коротко можно сказать, что «Intelligence» ближе всего к такому базовому понятию, как способность приобретать новые знания и навыки на основе накопленного опыта.

Для русского термина «интеллект» в английском языке одним из вариантов перевода является многозначный термин «Intellect», обобщающий понятие способности к мышлению, рассуждению и объективному пониманию окружающей действительности. Одним из свойств, которыми обладает интеллект человека (Human Intellect), является абстрактное мышление, характеризующее когнитивные способности именно человека.

По существу, термин «Intelligence» – это широкое понятие, охватывающее множество эмоциональных и практических аспектов, таких как, например, способность учиться на опыте, адаптация к новым ситуациям, способность решать возникающие проблемы, понимание и обработка абстрактных концепций, эмоциональная и социальная осведомлённость, распознавание образов и память.

Поэтому Intelligence развивается через различный собственный опыт и самостоятельное взаимодействие с внешним миром, а Intellect, в первую очередь, развивается посредством формального образования и обучения.

Несмотря на явные различия, перевод «Artificial Intelligence» как «искусственный интеллект» прижился в российских публикациях. В дальнейшем в этой статье мы будем пользоваться аббревиатурой «ИИ».

Эти и другие технические термины подробно описаны в документе «Национальная стратегия развития ИИ на период до 2030 года» [3].

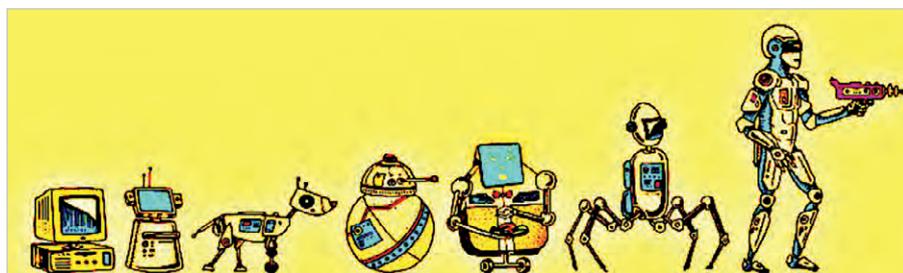


Рис. 1. Эволюция ИИ от первого компьютера до промышленных роботов [2]



Рис. 2. Современный ИИ – это разум или интеллект? [14]



Рис. 3. Основные этапы работы современного искусственного интеллекта

сложностью, но не своей фундаментальной природой: это по-прежнему программно-аппаратный комплекс, работающий по заданиям человека.

Эти системы позволяют обрабатывать естественный язык и генерировать осмысленные ответы, имитируя человеческое общение.

Основные этапы работы современного ИИ показаны на рис. 3, сгенерированном AI Claude 3.7.

Процесс начинается с ввода пользователя, формулирующего запрос через соответствующий интерфейс (веб-приложение, мобильное приложение, API и т.д.). Запрос может содержать текст, а в некоторых моделях также изображения или другие типы данных.

На этапе первичной обработки запроса происходит предварительная подготовка пользовательского запроса, включающая такие технические операции, как, например: нормализация текста (приведение к единому регистру, удаление лишних пробелов); предварительный анализ содержания на предмет нарушения правил использования; добавление системных инструкций, исходя из имеющегося контекста; предварительное отсеивание запрещённого контента.

Важным этапом является токенизация текста, в процессе которой текст разбивается на токены, определяемые как минимальные текстовые единицы, с которыми работает модель. В качестве аналогии токенов можно привести разбиение предложения на части подобно тому, как мы разбиваем числа в математике. Токенами могут быть слова, части слов или отдельные символы, в зависимости от используемого «токенизатора». Например, английскую фразу «The cat sits on the mat» искусственный интеллект Claude разбивает на следующий набор токенов: «The», «cat», «sit», «s», «on», «the», «mat». В этом блоке также реализуется обработка специальных токенов, определяются начало и конец предложения. В отдельную группу выделяются неизвестные модели токены.

Каждая модель ИИ использует определённый набор специализированных алгоритмов токенизации, таких как, например, BPE, WordPiece, SentencePiece и другие.

На следующем этапе происходит подготовка информации к тензорным вычислениям, в результате которой токены преобразуются в многомер-

Сегодня ИИ активно развивается не только за рубежом, но и в Российской Федерации, где этому направлению уделяется огромное внимание. На последней (11 декабря 2024) международной конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта», на которой присутствовали члены правительства, были продемонстрированы платформы искусственного интеллекта, разработанные российскими специалистами [4].

На выставке, которая прошла в рамках конференции, были представлены следующие российские AI: GigaChat, СБЕРБАНК [5]; Kandinsky 3.1 (Сбербанк) [6]; Yandex GPT-2 [7]; «Телематика» ComNews [8]; AI.T-bank – Центр искусственного интеллекта Т-Банка [9].

Российские разработки ИИ достаточно тщательно рассмотрены в многочисленных публикациях [10, 11].

Независимое тестирование, проведённое компанией «Зерокодер», показало, что российские LLM модели GigaChat и Yandex GPT в плане простых задач работают не хуже таких известных мировых AI, как ChatGPT-o1 и Llama 3.2. При этом стоимость платных версий российских продуктов значительно ниже, а доступность на территории РФ не ограничена [12].

Особую роль в развитии российских средств искусственного интеллекта сыграл созданный пять лет назад «Альянс в сфере искусственного интеллекта», в который, например, входят: Сбербанк; Т-Банк; Яндекс; МТС; Газпром; СИБУР; ВК; МТС; УРАЛХИМ, РУСАПРО; Северсталь; Ростелеком, Касперский и другие.

Необходимо отметить, что координацией деятельности по развитию ИИ занимается также автономная некоммерческая организация «Цифровая экономика», уполномоченная Правительством РФ.

По итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта» (11.12.2024) был разработан ряд поручений президента правительству, направленных на развитие искусственного интеллекта в Российской Федерации [13].

В последние годы ИИ находит применение в самых различных новых областях науки, техники, медицины, транспорта, космоса, вооружений и т.д.

Сегодня AI умеет поддерживать диалог с человеком в реальном масштабе времени, обсуждая практически любые вопросы.

Возникает вопрос, что же такое современный Artificial Intelligence? Это по-прежнему только набор инструментов и программ, облегчающий труд человека? Или это уже некий новый феномен в развитии технологий, способный понимать контекст, учиться на опыте, адаптироваться к неизвестным ранее явлениям? (рис. 2) [14]

Ответ на этот вопрос является крайне важным с точки зрения ожиданий и разочарований как пользователей, так и разработчиков AI.

### Что такое искусственный интеллект с технической точки зрения

От первого компьютера NCR-304 (1957), который выполнял лишь базовые математические операции, современный ИИ отличается масштабом и



Рис. 4. Структурная схема аппаратной и программной частей современного ИИ

ные векторы (эмбединги). Не вдаваясь в подробности тензорной алгебры, можно отметить, что, например, наша токенизированная «cat» превратится в многомерный вектор [0,2; -0,5; 0,8; ...].

Основной этап обработки реализуется в аппаратном модуле вычисления, где происходит обработка запроса с использованием нейронной сети модели искусственного интеллекта. В результате модельных расчётов в декодер токенов поступает информация, позволяющая генерировать выходные токены.

Сгенерированный ответ модели проходит дополнительную обработку, необходимую для улучшения качества и безопасности в блоке «конечной обработки». На этом этапе осуществляются следующие технические операции: форматирование и структурирование ответа; проверка согласованности и логичности; контроль правил стилистики и грамматики; оформление ответа в соответствии с требуемым форматом.

Дополнительный контроль содержания ответа в плане обеспечения безопасности и соответствия этическим нормам реализуется в модуле безопасности.

Вывод ответа на запрос клиента осуществляется на финальном этапе работы в форме, преобразованной в формат, понятный клиентскому приложению. Для реализации этих сложных процессов ИИ требует мощной аппаратной базы, о которой пойдёт речь далее.

Понимание архитектуры и принципов работы такой системы необходимо для эффективного проектирования, разработки и использования современных интеллектуальных систем на основе больших языковых моделей.

Структурная схема аппаратной и программной части современного ИИ показана на рис. 4, сгенерированном AI Claude 3.7.

Типичная аппаратная конфигурация современного ИИ (LLM) включает серверную часть, инфраструктуру и вспомогательное оборудование. Каждая из многочисленных фирм, занимающихся разработками ИИ, использует свои варианты компоновки аппаратной части. Поэтому в этом описании мы ограничимся только общими хорошо известными схемами.

В современных больших языковых моделях используются графические процессоры (GPU), предназначенные для параллельной обработки с использованием матричных вычислений.

В качестве примера можно привести два наиболее мощных на сегодняшний день графических процессора NVIDIA H100 и H200.

Модель H100 с ядрами Tensor четвертого поколения, созданная по технологии TSMC 4N, имеет 80 ГБ памяти HBM3 с пропускной способностью 3,35 Тбайт/с. Более новая версия H200 отличается увеличенным объёмом памяти HBM3e (до 141 ГБ), повышенной пропускной способностью памяти (до 4,8 Тбайт/с), а также более высокой

энергоэффективностью. Обе модели имеют одинаковый конструктив «8U Rackmount». Кроме уникальных технических характеристик H100/H200 отличаются и крайне высокой стоимостью.

Конструкция NVIDIA H100 предусматривает совместную работу нескольких GPU, объединённых в стандартные серверные кейсы. Так, новая модель сервера NVIDIA DGX H100/H200 содержит восемь H100 или H200 графических процессоров (рис. 5). Этот сервер имеет габаритные размеры 897×356×482 мм и весит 131 кг.

Управление операционной системой и общими ресурсами серверов осуществляется с помощью центральных процессоров Intel Xeon. В сервере NVIDIA DGX H100 используются два 56-ядерных процессора Intel Xeon Platinum 8480C, 3,8 ГГц (Sapphire Rapids). Сервер DGX H200 оснащён двумя центральными процессорами Intel Xeon Platinum 8480CL+ (56 ядер).

Параллельная работа восьми GPU позволяет достичь производительности до 32 петафлопс в вычислениях с пониженной точностью (FP8) и до 8 петафлопс в вычислениях с плавающей точкой (FP16). Объединённая высокоскоростная процессорная память 640 Гбайт и оперативная память 2 Тбайт DDR5 позволяют работать независимо от центров (DC Data Center) для решения небольших задач.

Межсоединение GPU NVIDIA NVLink четвертого поколения с пропускной способностью 900 Гбайт/с и сетевые интерфейсы NVIDIA ConnectX-7 с поддержкой 400 Гбит/с Ethernet/InfiniBand позволяют поддерживать сверхвысокие скорости обмена данными.

Сервер имеет систему жидкостного охлаждения для GPU и воздушное охлаждение для остальных компонентов. Питается сервер от трёхфазной сети 200–240 В, а также оснащён системами резервного питания (UPS).

Для создания инфраструктуры под крупные модели искусственного интеллекта используются кластеры из сотен систем DGX, объединённых в единую вычислительную среду, такую, например, как DGX SuperPOD. Кластеры представляют собой отдельные помещения, в которых размещены стойки с серверами. В стандартную серверную стойку (42U) можно установить до 5 серверов NVIDIA DGX H100/H200. Кластерные помещения оснащены общей системой питания, охлаждения и другой периферией. Более подробное опи-

сание работы основных перечисленных выше блоков аппаратной части ИИ можно найти на сайте NVIDIA.

Кроме рассмотренных серий NVIDIA H100 и H200 в серверах ИИ широко используются и другие GPU:

- NVIDIA A100 – предшественник H100, всё ещё широко применяется в серверах ИИ с 40/80 Гбайт памяти HBM2e;
- Habana Gaudi – приобретённые Intel чипы, оптимизированные для ИИ рабочей нагрузки;
- AMD Instinct MI250/MI300X – серия GPU от AMD, конкурирующая с NVIDIA. MI300X имеет 192 Гбайт HBM3 памяти;
- Google TPU (v4/v5e) – специализированные тензорные процессоры от Google, используемые в их облачных сервисах;
- NVIDIA L4/L40 – энергоэффективные GPU для инференса с меньшим энергопотреблением;
- Intel Gaudi2/Gaudi3 – ускорители ИИ от Intel, предназначенные для обучения и инференса;
- AWS Trainium/Inferentia – собственные чипы Amazon для обучения и инференса;
- Biren Technology BR100 – высокопроизводительный GPU для ИИ-вычислений с высокой пропускной способностью памяти;
- Moore Threads MTT S3000/S4000 – серия GPU для задач ИИ и научных вычислений;
- Пиватар CoreX – производительные GPU, используемые для обучения крупных языковых моделей;
- Cambrian/Cambricon MLU – серия ускорителей, специализированных для машинного обучения;
- Huawei Ascend 910/910B – мощные ускорители ИИ от Huawei, разработанные специально для обучения и инференса крупных моделей.

Эти GPU различаются по объёму и типу памяти (от 24 до 192 Гбайт, HBM2e, HBM3); энергопотреблению (от 150 до 700 Вт и выше); производительности (TFLOPS для FP16/BF16/INT8); поддержке различных фреймворков и библиотек ИИ; стоимости.

Часть перечисленных модулей может использоваться для целей инференса крупных моделей. Термин «инференс» (Inference) обозначает процесс использования уже обученной модели искусственного интеллекта для получения результатов или предсказаний на основе новых входных данных. В качестве примера можно привести калькулятор. Сначала калькулятор

программируется, то есть его обучают выполнять определённые математические операции. После этого калькулятор можно использовать для инференса, вводя в него определённые числа и совершая с ними математические действия, которым он был обучен.

Во втором столбце схемы аппаратной части (рис. 4) подразумеваются компоненты, которые обеспечивают базовую инфраструктуру, необходимую для работы GPU-кластеров и взаимодействия между ними. Среди наиболее значимых из элементов инфраструктуры можно отметить: сеть высокоскоростных соединений между серверами (100–400 Гбайт); оперативная память серверов (1–2 Тбайт); СХД – системы хранения данных; системы электропитания.

Третий блок на этой схеме описывает инструментарий, обеспечивающий объединение серверов в кластеры и создание необходимой для этого инфраструктуры.

Работа ИИ как программно-аппаратного комплекса представляет собой сложный многоэтапный процесс, требующий значительных вычислительных ресурсов и специализированного программного обеспечения.

Программное обеспечение современных систем искусственного интеллекта представляет собой сложную многоуровневую структуру, напоминающую слоёный пирог. Каждый уровень этой структуры решает свои задачи и обеспечивает работу всей системы в целом. Для удобства понимания разделим эту структуру на три основных уровня: базовый (фундамент), средний (инструментальный) и верхний (пользовательский).

Например, процесс обработки вашего запроса к модели ИИ проходит следующий путь. Верхний уровень принимает ваш запрос через API, проверяет его и направляет в систему

Средний уровень готовит модель к работе, распределяет вычисления между серверами. Базовый уровень выполняет тяжёлые математические вычисления на графических процессорах.

Результат возвращается обратно через все уровни в виде сформулированного ответа.

Базовый уровень обеспечивает самые основные функции, без которых невозможна работа ИИ-системы.

Прежде всего – это операционная система и драйверы. Большинство современных ИИ-систем работает на основе специально оптимизированных

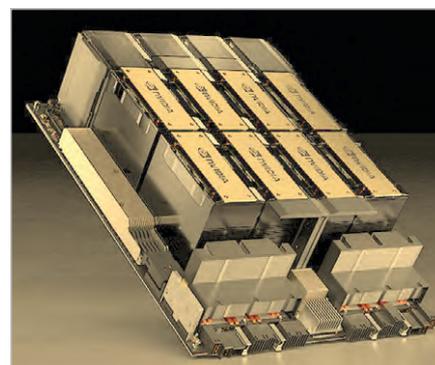


Рис. 5. Сервер NVIDIA DGX H100/H200

версий Linux (Ubuntu Server, CentOS). Эти операционные системы модифицированы для максимальной производительности при работе с графическими процессорами. Компания NVIDIA предлагает собственные оптимизированные версии операционных систем.

Платформы для параллельных вычислений, такие как, например, CUDA от NVIDIA, представляют собой специальный программный интерфейс, позволяющий использовать графические процессоры для неграфических вычислений. Существуют также аналоги от других производителей: ROCm (для AMD), OneAPI (Intel), CANN (Huawei).

Средний уровень содержит инструменты, с которыми работают разработчики ИИ-систем, такие как фреймворки глубокого обучения. Это программные платформы, упрощающие создание и обучение нейронных сетей. Среди наиболее популярных можно выделить: PyTorch, который отличается гибкостью и удобством экспериментирования; TensorFlow, предлагающий как простой интерфейс через Keras, так и возможности тонкой настройки; JAX, специализирующийся на научных вычислениях; MindSpore, оптимизированный для оборудования Huawei.

Для эффективной работы с крупными моделями, содержащими миллиарды параметров, созданы специальные библиотеки: DeepSpeed (Microsoft), оптимизирующая использование памяти; Megatron-LM, которая предназначена для распределённых вычислений; vLLM, ускоряющая инференс языковых моделей.

Системы оркестрации координируют работу множества серверов, объединённых в единую систему: Kubernetes, использующийся как стандартное решение для управления контейнерами; Slurm, традици-

онно популярный в научных кластерах; Ray, предназначенный в качестве универсального фреймворка для распределённых приложений.

Верхний уровень обеспечивает доступ к возможностям ИИ для конечных пользователей и внешних систем.

Серверные API верхнего уровня представляют собой интерфейсы, через которые пользователи и приложения взаимодействуют с моделями ИИ. Из наиболее популярных можно выделить FastAPI и Flask. Это лёгкие и быстрые решения для создания API. Утилита gRPC обеспечивает более эффективную передачу данных при высоких нагрузках.

Верхний уровень также содержит программы для поддержки инференса, такие как Triton Inference Server и TorchServe.

Системы кэширования и балансировки нагрузки Redis, Memcached и NGINX обеспечивают быстрый доступ при больших нагрузках к часто используемым серверам.

Кроме того, верхнему уровню принадлежат также утилиты мониторинга и логирования, которые отслеживают работу системы и помогают выявлять проблемы, например, Prometheus, Grafana, Elasticsearch, Logstash, Kibana и другие.

Перечисленные программные продукты были приведены здесь только в качестве известных примеров и далеко не полностью представляют всю линейку программных продуктов, задействованных в современных ИИ. Более подробное описание принципов работы современных мощных моделей ИИ можно посмотреть в детальном обзоре [15].

Цель этого раздела заключалась в том, чтобы показать, что такая многоуровневая архитектура позволяет эффективно управлять всем жизненным циклом больших языковых моделей, обеспечивая оптимальное использование вычислительных ресурсов и высокое качество обслуживания конечных пользователей. При этом каждый уровень развивается в значительной степени независимо, что позволяет внедрять инновации без перестройки всей системы.

### Ведущие компании – разработчики искусственного интеллекта

Из огромного количества появившихся в настоящее время компаний,

Таблица 1. Общепринятая в англоязычной литературе аббревиатура базовых направлений искусственного интеллекта

| ABI  | Agent-Based AI                             | Агентные системы ИИ                                 |
|------|--|---|
| AGM  | Audio Generative Model                     | Генерация аудио                                     |
| AGI  | Artificial General Intelligence            | Сильный искусственный интеллект                     |
| AIS  | AI Supercomputer                           | ИИ на базе суперкомпьютера                          |
| ATS  | Autonomous Transport Systems               | Автономные транспортные системы                     |
| AR   | Accuracy Rewards                           | Награды за точность решения                         |
| BCI  | Brain-Computer Interfaces                  | Интерфейсы мозг–компьютер                           |
| BDS  | AI Bias Detection Systems                  | Системы обнаружения предвзятости ИИ                 |
| CSD  | Cold-Start Data                            | Начальный анализ на основе ранее накопленного опыта |
| CV   | Computer Vision                            | Компьютерное зрение                                 |
| CV&G | Computer Vision & Image Generation         | Компьютерное зрение и генерация изображений         |
| DGX  | Data Center GPU eXtreme                    | Дата-центр Nvidia                                   |
| GAN  | Generative Adversarial Networks            | Генеративные состязательные сети                    |
| GPU  | Graphics Processor Unit                    | Графические процессоры GPU                          |
| GRPO | Group Relative Policy Optimization         | Оптимизация групповой относительной политики        |
| IGM  | Image Generation Models                    | Модели генерации изображений                        |
| IFT  | AI Fairness Tools                          | Инструменты обеспечения справедливости ИИ           |
| FR   | Format Rewards                             | Награды за чётко структурированный вывод            |
| LLM  | Large Language Models                      | Большие языковые модели                             |
| MFR  | Multifunctional Robots                     | Многофункциональные роботы                          |
| NGA  | New Generation AI                          | Новое поколение ИИ                                  |
| POD  | Performance Optimized Datacenter           | Модульные кластеры Nvidia                           |
| PPO  | Proximal Policy Optimization               | Оптимизация ближайшей политики                      |
| PRL  | Pure Reinforcement Learning                | Чистое обучение с подкреплением                     |
| RIP  | Responsible AI Practices                   | Ответственные практики ИИ                           |
| RLHF | Reinforcement Learning from Human Feedback | Обучение с обратной связью от человека              |
| RBR  | Rule-Based Rewards                         | Награды на основе правил RBR                        |
| S2T  | Speech-to-Text                             | Модели преобразования голоса в текст                |
| SAI  | Specialized AI systems                     | Специальные системы ИИ                              |
| SLM  | Small Language Models                      | Малые языковые модели                               |
| SFT  | Supervised Fine-Tuning                     | Тонкая настройка с помощью человека-супервизора     |
| T2I  | Text-to-Image                              | Модели преобразования текста в изображение          |
| T2S  | Text-to-Speech                             | Модели преобразования текста в голос                |
| TPU  | Tensor Processing Units                    | Тензорный процессор                                 |
| VGM  | Video Generative Model                     | Генерация видео                                     |

занимающихся разработками ИИ, трудно выделить те, которые занимают первые места в этом направлении. Тем не менее, основываясь на мнении наиболее авторитетных экспертов в области искусственного интеллекта, можно говорить о тех компаниях, чья продукция представляется наиболее перспективной.

На основе прогнозов развития ИИ, сделанных такими гигантами, как Google [16]; IBM [17, 18]; Gartner [19]; Statista [20]; AlphaSens [21]; CB Insights [22], мы постарались выделить те компании, которые действительно занимают лидирующие направления в разработках наиболее важных приложений ИИ.

В этой статье не рассматриваются российские большие модели ИИ, которым посвящено достаточно большое количество статей в Интернете. Подробный обзор российских компаний, которые занимаются созданием решений на основе генеративного ИИ, а также сопутствующих инструментов, доступен на сайте [23].

Поскольку в этой статье цитируются в основном источники ведущих мировых компаний, ниже использована общепринятая в англоязычной литературе аббревиатура, расшифровка которой приведена в табл. 1.

Ниже коротко рассмотрены только несколько наиболее крупных и вли-

ятельных мировых компаний, разрабатывающих и производящих модели искусственного интеллекта (AI Companies – AIC), среди которых, прежде всего, следует отметить: OpenAI, Google AI, Meta AI, Microsoft AI, Anthropic, Core AI (подразделение Microsoft), Stability AI, xAI, Amazon AI Web Services, Midjourney.

По всей видимости, одной из первых специализированных компаний, которые стали интенсивно инвестировать в направление ИИ, можно считать Facebook Artificial Intelligence Research – FAIR, созданную в концерне Facebook в 2013 году. Следует отметить, что первым генеральным директором FAIR был Ян Лекюн, лауреат премии Тьюринга, профессор Нью-Йоркского университета.

Компания Meta AI появилась в 2021 году после того, как компания FAIR была переименована в результате ребрендинга Facebook в Meta Platforms Inc. Научно-исследовательское подразделение Meta AI фокусируется на разработке открытых моделей ИИ, машинного перевода, компьютерного зрения и других инновационных технологий [24].

В 2015 году была основана компания OpenAI. Сопредседателями организации стали Илон Маск и Сэм Альтман. Первоначально OpenAI была создана как некоммерческая организация с целью разработки и продвижения искусственного интеллекта, который будет полезен для всего человечества. Однако в 2019 году компания перешла на коммерческую бизнес-модель «ограниченной прибыли» [25].

Компания DeepMind Technologies – британская компания, специализировавшаяся на разработке искусственного интеллекта. Она была основана в 2010 году в Лондоне. В 2014 году компанию приобрёл концерн Google, и она была переименована в DeepMind.

В 2023 году DeepMind объединилась с подразделением Google Brain и стала частью Google DeepMind. Основное направление – разработка моделей искусственного интеллекта, включая разработку систем, способных решать математические задачи и создавать новые материалы с уникальными свойствами.

Другое структурное отделение корпорации Google, созданное в 2017 году, получило название Google AI. Эта самостоятельная компания разрабатывает различные проекты и технологии, такие как, например, TensorFlow, LaMDA и Sysamore. Подразделение Google AI занимается также другими

проектами: от машинного обучения и компьютерного зрения до медицинских приложений и этических аспектов ИИ [26].

Кроме того, во всём мире известна облачная платформа со свободным доступом Google-AI-Studio [27].

Компания Anthropic была основана в 2021 году бывшими сотрудниками OpenAI, среди которых был Дарио Амодей, ранее занимавший должность вице-президента по исследованиям в OpenAI. Его сестра Даниэла Амодей стала президентом Anthropic. Сегодня Anthropic фокусируется на разработке безопасных и интерпретируемых систем ИИ. Большое внимание компания уделяет этическим и экологическим проблемам, связанным с ИИ. Она имеет статус Public Benefit Corporation – PBC [28].

Корпорация Microsoft начала активно заниматься проблемами ИИ с разработок в области машинного обучения и когнитивных сервисных приложений только в конце 2000-х.

В марте 2023 года было официально анонсировано создание отдельного подразделения Microsoft AI, целью которого стали вопросы развития рынка продаж потребительских товаров на основе искусственного интеллекта [29].

В начале 2025 года корпорация Microsoft объявила о создании нового подразделения Core AI Platform and Tools.

В состав нового отделения включены такие группы разработчиков, как, например:

- Development Division (разработка инструментов для программистов);
- AI Platform (создание базовых технологий и инфраструктуры для работы с искусственным интеллектом);
- AI Supercomputer (разработка высокопроизводительных вычислительных систем для обучения и запуска крупных ИИ-моделей);
- AI Agentic Runtimes (разработка автономных ИИ-систем, способных выполнять задачи самостоятельно);
- Engineering Thrive (оптимизация инженерных процессов и повышение их эффективности).

Объединение этих команд позволяет создать более интегрированный подход к разработке ИИ-платформ и инструментов, которые могут быть использованы как внутри компании, так и предложены внешним разработчикам и клиентам.

Кроме того, Microsoft продолжает тесное сотрудничество с OpenAI

и активно инвестирует в развитие ИИ-технологий [30].

Компания Stability получила широкую известность в последние годы и вошла в список ведущих вендоров ИИ благодаря своим генеративным моделям для создания изображений и аудио. Так, в перечне продукции Stability есть ИИ различных классов, таких как: большая языковая модель; генерация изображений; модели для работы с аудио и генерации кода [31].

Ещё одна относительно новая ИИ, основанная на базе xAI по инициативе Илона Маска, появилась в 2023 году. По размаху и вложениям эта компания, вероятно, занимает первое место. Она разработала одну из самых мощных сейчас LLM моделей Grok, которая имеет прямой доступ к облачному сервису X, ранее известному как Twitter.

Необходимо сказать несколько слов о том, что представляет собой аппаратная часть Grok.

Например, в моделях ИИ Grok используется линейка высокопроизводительных графических процессоров H100 от NVIDIA, разработанных специально для задач искусственного интеллекта и глубокого обучения. Дата-центры Data Center GPU eXtreme – DGX объединены в модульные кластеры Performance Optimized Datacenter – POD, предназначенные для масштабируемых вычислений.

Например, для обучения модели Grok-1.5 используется кластерная система, содержащая до 5000 графических процессоров NVIDIA H100. Каждый H100 имеет 80 Гбайт памяти HBM и обеспечивает до 3,958 петафлопс вычислительной мощности в FP8 [33].

По некоторым данным, xAI использует инфраструктуру Oracle Cloud, а также, возможно, собственные вычислительные мощности [34].

Для размещения 5000 GPU необходима общая площадь порядка 150–200 м<sup>2</sup> серверного пространства (с учётом проходов, систем охлаждения и электропитания) [35].

Учитывая, что средняя стоимость одного GPU NVIDIA H100 находится в диапазоне от 25 до 30 тысяч долларов США, стоимость только GPU составит \$125–150 млн. Кроме того, серверное оборудование, сетевая инфраструктура дополнительно составят около \$40–60 млн. Системы охлаждения, электропитания и резервного копирования – это ещё \$20–30 млн. В результате суммарная стоимость оборудова-



Рис. 6. Кластерная система GPU серверов в ИИ Grok [37]

ния может превысить \$240 млн. Также нужно учесть дополнительные расходы, связанные с потреблением электроэнергии. Если учесть, что в сумме такое оборудование потребляет около 20 МВт, годовые затраты на электроэнергию составят ещё \$15–20 млн. Нужно не забыть расходы на обслуживание инфраструктуры – \$10–15 млн в год [36].

По оценкам экспертов, для обучения последней модели Grok 3 было задействовано около 100 000 графических процессоров (GPU NVIDIA H100). Стандартная серверная система DGX NVIDIA H100 включает в себя 8 GPU H100. Поэтому для размещения 100 000 GPU H100 потребуется 12 500 систем DGX H100 (рис. 6) [37].

Своеобразным сюрпризом в 2024 году стала китайская компания DeepSeek, которая является одним из ключевых китайских игроков на рынке ИИ. Она была основана в 2023 году бывшими сотрудниками из Baidu Янь Цзюнем (бывший технический вице-президент Baidu) и Цао Яндунем (экстехнический директор Baidu) [38]. Эта компания выделяется среди китайских компаний, занимающихся разработкой моделей ИИ. Неслучайно в названии компании обыгрываются слова «Deep Seek» – «глубинный поиск» (рис. 7).

Используя нетрадиционный подход как в аппаратной, так и в программной частях своей разработки, DeepSeek сумела создать модель, которая по производительности не уступает, например, LLM OpenAI, однако стоит в несколько раз дешевле [39].

Добавим, что DeepSeek – один из немногих китайских разработчиков, выпускающих как проприетарные, так и открытые модели ИИ [40].

Модель DeepSeek Coder 33B была специально разработана для лучшего понимания и генерации программного кода [41].

Кардинально отличается аппаратная часть DeepSeek от американских

и других западных производителей. Из крайне скурых описаний состава аппаратной части можно предполагать, что DeepSeek, по оценкам экспертов, использует, скорее всего, последнюю модель китайского специализированного процессора Huawei Ascend 910C. Однако конкретных упоминаний этого факта нет, по крайней мере, в англоязычной литературе. Можно лишь сказать, что этот процессор, разработанный Huawei специально для задач ИИ, основан на архитектуре Da Vinci, оптимизированной для обработки больших объёмов данных и выполнения сложных вычислений, необходимых для работы с глубокими нейронными сетями. Наличие встроенной памяти снижает необходимость частого обращения к внешним источникам данных и ускоряет обработку больших объёмов данных. Для обучения моделей уровня DeepSeek R1, по-видимому, используется кластер из сотен или тысяч GPU/TPU. Например, тренировка на Nvidia H800 могла проходить на кластере из примерно тысячи единиц, а вывод – на аналогичном количестве Ascend 910C [42, 43].

Ориентировочная цена одного чипа Ascend 910C может составлять примерно \$5000, что в несколько раз дешевле Nvidia H100. Поэтому несмотря на то, что производительность китайского процессора Ascend 910C достигает всего 60% от производительности американского H100, он значительно выигрывает в цене [44].

Большинство крупных компаний развивает различные направления ИИ одновременно.

Вместе с тем существует определённая специализация компаний – разработчиков ИИ по отдельным направлениям:

- OpenAI: продвинутые языковые и мультимодальные модели;
- Anthropic: безопасность и этичность ИИ;
- Meta AI: открытые модели и исследования;
- Google: широкий спектр от фундаментальных исследований до практических приложений;
- Microsoft: интеграция ИИ в продукты и разработка инструментов;
- xAI (Grok): акцент на максимальной информационной открытости, нестандартном мышлении и встроенной актуальной информации из Интернета;
- DeepSeek: специализированные модели для программирования и математики с фокусом на китайский и миро-

вой рынок, баланс между открытыми и проприетарными решениями.

## Языковые модели искусственного интеллекта

С помощью обучающих программ большие генеративные модели, кроме того, что способны решать сложнейшие технические вопросы со скоростью обработки миллионов операций в секунду, могут также писать музыку, стихи, генерировать изображения, поддерживать диалог практически на всех языках мира (рис. 8).

Языковые модели искусственного интеллекта (Language Models – LM), являющиеся частью общего класса Generative Language Models – GLM, предназначены для обработки естественного языка. Эти модели могут распознавать, переводить, предсказывать или генерировать текст или другой контент, включая видео и изображения.

Различают два типа языковых моделей – большие (Large Language Models – LLM) и малые (Small Language Models).

Современные LLM обычно имеют от 70 млрд параметров и выше. Например: GPT-4 – примерно от 1 до 1,8 трлн; Claude 3 – более 1 трлн; Gemini Ultra – более 100 млрд; GPT 3,5–175 млрд.

Классификация моделей LLM основывается не только на количестве параметров, но также учитывает такие функциональные возможности, как требования к вычислительным ресурсам; возможность локального запуска; эффективность использования ресурсов; специализация конкретных задач.

В качестве примера наиболее известных больших языковых моделей LLM можно привести следующие:

- GPT-4 от OpenAI (ChatGPT) [46];
- ChatGPT от OpenAI [47];
- Gemini от Google [48];
- Claude от Anthropic [49];
- LLaMA 2 от Meta [50];
- Grok от xAI [51];
- PaLM/PaLM 2/CodeGemma от Google [52];



Рис. 7. DeepSeek – глубинный поиск [39]

- Stability AI [53];
- и другие.

Из новых моделей можно выделить Claude 3.7, Grok 3 и Gemini 2.0.

Последняя версия Claude 3.7 Sonnet была выпущена в феврале 2025 года. Это часть семейства моделей Claude 3, которое включает также Claude Haiku и Claude Opus. Увеличенное окно контекста (двести тысяч токенов) демонстрирует улучшенное понимание контекста, более связные и релевантные ответы, а также учёт нюансов и подтекста вопросов. Кроме того, модель Claude 3.7 способна лучше справляться со сложными, многоступенчатыми задачами, требующими более глубокого анализа. Например, Claude 3.7 может без ошибок генерировать инструкции для настройки таких сложных электронных систем, как серверы с ИИ-ускорителями [54].

Одна из последних LLM моделей Google DeepMind Gemini 2.0 появилась в феврале 2025 года. Кроме того, что для продвинутых пользователей появилась возможность решения сложных задач через API Gemini в Google AI Studio, обновлённый вариант ИИ с Flash Gemini 2.0 стал доступным на рабочем столе и мобильных устройствах для всех пользователей приложения Gemini.

Внедрение LLM Gemini 2.0 в управление IoT «умного дома» позволит существенно упростить процессы использования ИИ в таких новых развивающихся направлениях, как AI-In-Everything – AИЕ.

Например, ИИ сможет быть полезным в тех случаях, когда нужно будет генерировать код, компилировать и адаптировать его для ПО умного термостата, который должен отвечать на сложные голосовые запросы типа «почему так жарко, сделай похолоднее» и т.д. [55].

Мультимодальная модель ИИ OpenAI GPT-4o (Omni), выпущенная в мае 2024 года, обладает улучшенными возможностями обработки текста, изображений, аудио и видео в реальном времени, позволяя вести естественные разговоры со способностью переключаться между модальностями. Модель GPT-4o значительно превосходит предыдущие разработки по скорости и точности, особенно в задачах распознавания и анализа речи [56].

Большая языковая модель Grok 3, появившаяся в феврале 2025 года, предназначена для обработки гигантских объёмов различных типов данных в виде текста и изображений [57].

Из основных отличительных свойств Grok 3 можно выделить такие, например, как: доступ к сетям Интернет в реальном масштабе времени; режим Think; функция DeepSearch. Режим Think позволяет разбивать сложные проблемы на простые и решать их последовательно шаг за шагом, уточняя ответы на каждой следующей итерации. В отличие от статических моделей, Grok имеет функцию DeepSearch, которая даёт возможность извлекать информацию в реальном времени из Интернета и BDB (Big Database) и генерировать ответы, отражающие последние достижения науки и техники. Обучение Grok 3, реализованное на суперкомпьютере xAI Colossus с более чем ста тысячами графических процессоров Nvidia (точные оценки неизвестны), а также контекстное окно, превышающее, по гипотетическим оценкам, миллион токенов, обеспечивают непрерывную поддержку чатов в течение длительного времени.

Важно подчеркнуть, что Grok 3 – это не просто генерация текста, а глубокий анализ проблемы. Так, например, этот ИИ может быть успешно использован при разработке чипов в плане создания кодов оптимизации, а также для общения с периферийными интеллектуальными устройствами [58].

Семейство крупных языковых моделей DeepSeek LLM представлено разными продуктами с размерами от 7 млрд до 67 млрд параметров. Модель DeepSeek 67B демонстрирует производительность, сравнимую с GPT-3.5. Она обучена на массивном датасете из более чем 2 трлн токенов.

Модель DeepSeek Coder 33B – это SLM, дополнительно обученная на больших корпусах кода и технической документации. Базовая архитектура взята от DeepSeek LLM, но модель прошла специализацию для лучшего понимания и генерации программного кода. Она была дополнительно обучена на триллионах токенов кода из различных репозиториях.

Модель DeepSeek Math 67B также является LLM, специализированной на математических задачах. Она построена на основе базовой LLM-архитектуры DeepSeek, но прошла дополнительное обучение на математических датасетах, включая задачи, формулы, доказательства и вычисления.

Коренное отличие DeepSeek от других моделей заключается в их новом подходе к обучению.



Рис. 8. Современные большие модели ИИ могут писать музыку, стихи, генерировать изображения [45]

Практически все большие современные модели, такие как OpenAI ChatGPT, используют для обучения метод Reinforcement Learning from Human Feedback – RLHF. В этом случае модель сначала обучается на больших объёмах данных (предобучение), а затем проходит этап тонкой настройки с использованием человеческой обратной связи. Человек оценивает ответы модели как «хорошо» или «плохо», и на основе этих оценок модель оптимизируется через алгоритмы усиленного обучения, такие как Proximal Policy Optimization – PPO. Это помогает модели лучше соответствовать человеческим ожиданиям и предпочтениям. В отличие от классического обучения на данных, здесь ИИ «экспериментирует», а человек говорит, что хорошо, а что плохо, точно так, как это делает тренер для спортсмена.

Основные этапы обучения LLM моделей методом RLHF приведены ниже (рис. 9).

1. Инициализация. Определяется задача, которую должен освоить ИИ-агент, и оценивается соответствующая функция вознаграждения.
2. Сбор и предварительная обработка данных. Отбираются решения задач экспертами. Эти демонстрации служат примерами, на основе которых обучается ИИ-агент. Полученные данные обрабатываются и преобразуются в формат, подходящий для обучения.
3. Начальное обучение политики поведения. Агент учится имитировать поведение экспертов на основе собранных данных.
4. Применение политики. Взаимодействие ИИ-агента с окружающей средой с использованием выученной политики.
5. Обратная связь. Эксперты предоставляют обратную связь о действи-

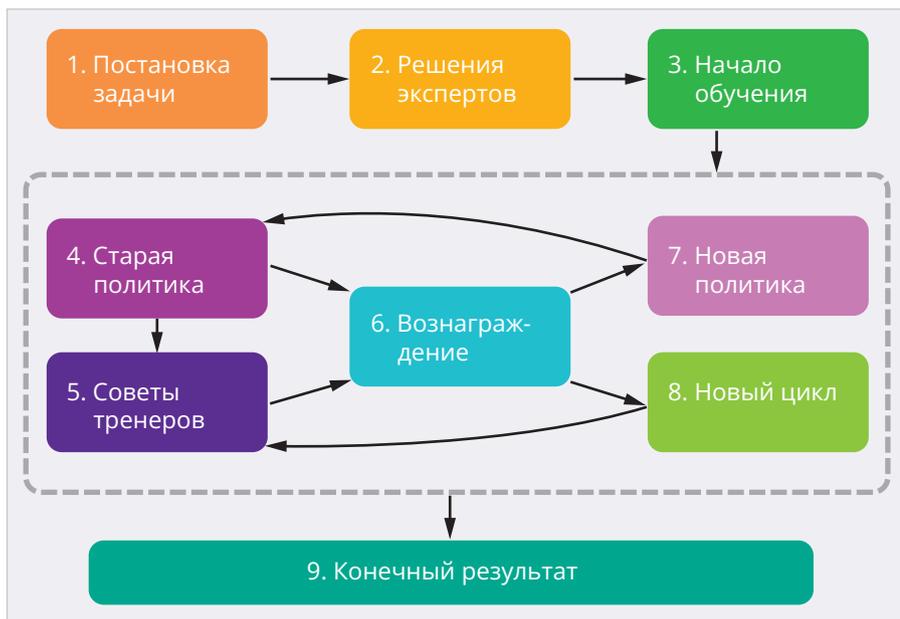


Рис. 9. Упрощённая схема обучения модели ИИ с подкреплением на основе обратной связи с человеком – RLHF

ях агента. Эта обратная связь может быть бинарной оценкой (хорошо или плохо) или более детализированной.

6. Обучение модели получения вознаграждения. Использование обратной связи от людей для создания модели получения вознаграждения, которая отражает предпочтения экспертов.

7. Обновление политики поведения на основе усвоенной агентом модели вознаграждения.

8. Итеративный процесс: этапы 4–7 повторяются итеративно, при этом ИИ-агент каждый раз совершенствует свою политику на основе демонстраций и обратной связи.

9. Процесс RLHF продолжается до тех пор, пока производительность агента не достигнет удовлетворительного уровня или пока не будет достигнут заранее определённый критерий остановки.

Следует отметить, что в варианте RLHF требуются огромные объёмы данных обратной связи, основанные на опыте миллионов людей. В противоположность этому подход DeepSeek (R1-Zero) полностью исключает человеческую обратную связь.

В альтернативном варианте метода DeepSeek (R1-Zero) предлагает коренное отличие в методе обучения ИИ. Компания используют собственный алгоритм Group Relative Policy Optimization – GRPO, который не требует отдельной модели-критика (как в PPO) и оптимизирует модель на основе сравнения группы сгенерированных ответов. При этом исключаются этап Supervised Fine-Tuning – SFT и челове-

ческая обратная связь на этапе пост-обучения, присущие RLHF. Вместо того чтобы использовать оценку человека, DeepSeek-R1-Zero обучается с помощью метода Pure Reinforcement Learning – RL, основанному на правильно-ориентированных наградах Rule-Based Rewards. Так, например, модель получает награду, которая называется Accuracy Rewards, если она абсолютно правильно решает математическую задачу. Другую награду Format Rewards модель получает, например, за чётко структурированный вывод. Каждая награда имеет свой вес. Таким образом, регламентируется каждое действие, и модель DeepSeek-R1-Zero «самообучается» без прямого вмешательства человека, что коренным образом отличается от метода RLHF.

Стоит отметить, что полная линейка DeepSeek-R1 не ограничивается только «чистым RL». Если DeepSeek-R1-Zero представляла собой эксперимент с полным исключением SFT и человеческой обратной связи, то финальные последующие модели включали комбинированные процессы.

Так, модель DeepSeek-R1 включает многоступенчатый процесс обучения:

- этап «холодного старта» с использованием данных (Cold-Start Data) для начальной настройки;
- основной этап RL (как в R1-Zero);
- дополнительная тонкая настройка с использованием данных, сгенерированных моделью, и повторный RL для улучшения читаемости и согласованности.

Подход DeepSeek, который учит ИИ думать самостоятельно, без подсказок от людей, является более автономным и менее трудозатратным, в отличие от трудоёмкого сбора информации, практикуемого OpenAI [59].

Понятие «большие языковые модели» неразрывно связано с так называемыми нейронными сетями – НС (Neural Networks – NN), представляющими собой вычислительные системы, основанные на многослойной базе сети узлов, созданных по аналогии с мозгом человека [60] (рис. 10).

Современные языковые модели анализируют миллиарды текстов: от шекспировских пьес до научных статей и программного кода, обнаруживая скрытые языковые закономерности. Это позволяет им понимать намерения человека даже при неточных формулировках, генерировать практически неотличимый от созданного человеком творческий контент, а также решать задачи, требующие сложного логического мышления.

В реальной жизни большие модели (LLM) уже сегодня широко используются для автоматизации работы с рутинной документацией, мгновенных переводов на большинство языков мира с сохранением контекстных нюансов. Они могут играть роль виртуальных секретарей, способных поддерживать содержательную дискуссию практически на любую тему.

Кроме LLM существуют и другие модели, оперирующие с небольшим числом параметров (меньше 15 млрд) и оптимизированные для выполнения специфических задач с меньшими вычислительными затратами. Они получили название «малые языковые модели» (Small Language Models – SLM). Эти модели представляют собой упрощённые версии больших языковых моделей.

Мультимодальные и перцептивные модели представляют класс ИИ, который характеризуется способностью инте-

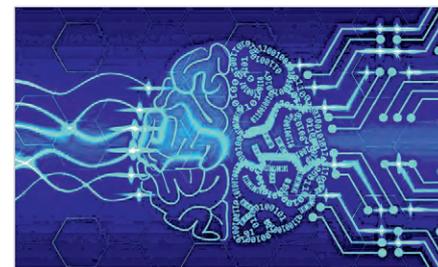


Рис. 10. Понятие «большие языковые модели» неразрывно связано с так называемыми нейронными сетями [61]

грировать разные типы данных (текст, изображения, аудио, видео) в единый целостно воспринимаемый контент.

В отличие от пассивных моделей ИИ, развиваются так называемые агентные системы ИИ (Agent-Based AI – ABAI), которые способны действовать самостоятельно, проявлять инициативу, учиться на своём опыте и адаптироваться к меняющимся условиям.

Отдельный класс составляют модели, предназначенные для инструментальной поддержки процесса разработки программного обеспечения ИИ.

Эти и другие вопросы развития ИИ будут рассмотрены в следующих частях.

## Список литературы

1. Немного об искусственном интеллекте. URL: <https://lawinrussia.ru/nemnogo-ob-iskusstvennom-intellekte/>.
2. Wikimedia Commons. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Main\\_Page](https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page).
3. Национальная стратегия развития ИИ на период до 2030 года. URL: <https://bit.ly/4hVxJq4>.
4. Конференция «Путешествие в мир искусственного интеллекта». URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/75830>.
5. «GigaChat», СБЕРБАНК. URL: <https://giga.chat/>.
6. Kandinsky 3.1, Sberbank. URL: <https://www.sberbank.com/promo/kandinsky/>.
7. Yandex GPT-2, Yandex. URL: <https://ya.ru/ai/gpt-2>.
8. «Телематика», ComNews. URL: <https://www.comnews.ru/content/235339/2024-09-23/2024-w39/1010/bespilotnye-gruzoviki-poekhali-pomoschyu-cifrovogo-dvoynika-trassy-m-11-koncerna-telematika>.
9. AI.T-bank, Центр искусственного интеллекта Т-Банка. URL: <https://ai.tbank.ru/>.
10. РБК Тренды. URL: <https://bit.ly/4i292s5>.
11. Искусственный интеллект в России – 2023: тренды и перспективы. URL: [https://yakov.partners/upload/iblock/c5e/c8t1wrkdne5y9a4nqlicderalwny7xh4/20231218\\_AI\\_future.pdf](https://yakov.partners/upload/iblock/c5e/c8t1wrkdne5y9a4nqlicderalwny7xh4/20231218_AI_future.pdf).
12. ООО «Зерокодер». URL: <https://zerocoder.ru/>.
13. Перечень поручений по итогам конференции «Путешествие в мир искусственного интеллекта». URL: <http://kremlin.ru/acts/assignments/orders/76076/print>.
14. Искусственный интеллект. URL: <https://bit.ly/4h4sx1S>.
15. The rise of Large Language Models: from fundamentals to application. URL: <https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/minisite/static/72b0015f-39c9-4a52-ba63-872c115bfb0/llm/pdf/rise-of-llm.pdf>.
16. AI Business Trends 2025, report. Google. URL: <https://cloud.google.com/resources/ai-trends-report>.
17. 5 Trends for 2025. IBM IBValue. URL: <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/en-us/report/business-trends-2025>.
18. 2025 Global Outlook for Banking and Financial Markets. URL: <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/>.
19. Use the 2025 strategic technology trends to shape the future with responsible innovation. Gartner. URL: <https://www.gartner.com/en/articles/top-technology-trends-2025>.
20. AI-trends-2025. Statista. URL: <https://www.statista.com/free-content/thank-you/ai-trends-2025-cs>.
21. Generative AI for Million-Dollar Decisions. AlphaSense. URL: <https://bit.ly/43dSby3>.
22. AI super analyst for market intelligence. CBINSIGHTS. URL: <https://www.cbinsights.com/>.
23. Карта рынка российского GenAI и сопутствующих продуктов. Хабр. URL: <https://habr.com/ru/articles/879622/>.
24. Meta AI. URL: <https://ai.meta.com/>.
25. OpenAI. URL: <https://openai.com/>.
26. Google AI. URL: <https://ai.google/>.
27. Google-AI-Studio. URL: <https://blog.click.ru/glossary/google-ai-studio/>.
28. Anthropic. URL: <https://www.anthropic.com/>.
29. Microsoft AI. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/ai>.
30. Introducing Core AI Platform and Tools. URL: <https://blogs.microsoft.com/blog/2025/01/13/introducing-core-ai-platform-and-tools/>.
31. Stability AI. URL: <https://stability.ai/>.
32. The NVSWITCH fabric that is the hub of the DGX H100 SUPERPOD. URL: <https://www.nextplatform.com/2022/03/23/nvidia-will-be-a-prime-contractor-for-big-ai-supercomputers/>.
33. NVIDIA. URL: <https://www.nvidia.com/en-us/on-demand/session/gtcspring23-se52203/>.
34. NVIDIA H100 Tensor Core GPU Architecture. URL: <https://developer.nvidia.com/blog/nvidia-h100-tensor-core-gpu-architecture/>.
35. NVIDIA DGX H100 Technical Specifications. URL: <https://www.nvidia.com/en-us/data-center/dgx-h100/>.
36. Gartner о рынке ИИ-инфраструктуры. URL: <https://www.gartner.com/en/documents/4116090>.
37. Colossus Inside the 100K GPU xAI Cluster that Supermicro Helped Build for Elon Musk. URL: <https://www.servethehome.com/inside-100000-nvidia-gpu-xai-colossus-cluster-supermicro-helped-build-for-elon-musk/>.
38. DeepSeek. URL: <https://www.deepseek.com/>.
39. DeepSeek – глубокий поиск. URL: <https://bit.ly/4i1UZ5J>.
40. GitHub. DeepSeek AI. URL: <https://github.com/deepseek-ai>.
41. DeepSeek Coder 33B. URL: <https://huggingface.co/deepseek-ai/deepseek-coder-33b-instruct>.
42. Huawei Ascend GPU. URL: <https://e.huawei.com/en/products/computing/ascend>.
43. Huawei Cloud. URL: <https://www.huaweicloud.com/intl/en-us/product/flexus.html>.
44. Huawei Enterprise. URL: <https://e.huawei.com/eu/>.
45. Imagine, Forbes. URL: <https://bit.ly/3DbjcYn>.
46. GPT-4 от OpenAI. URL: <https://openai.com>.
47. ChatGPT от OpenAI. URL: <https://chatgpt.com/>.
48. Gemini от Google. URL: <https://deepmind.google/technologies/gemini/>.
49. Claude от Anthropic. URL: <https://www.anthropic.com>.
50. LLaMa 2 от Meta. URL: <https://ai.meta.com/llama/>.
51. Grok от xAI. URL: <https://x.ai/>.
52. PaLM/PaLM 2/CodeGemma от Google. URL: <https://ai.google/get-started/our-models/>.
53. Stability AI Models. URL: <https://stability.ai/>.
54. Claude 3.7 Sonnet. URL: <https://www.anthropic.com>.
55. Gemini 2.0 API. URL: [https://aistudio.google.com/prompts/new\\_chat?model=gemini-2.0-pro-exp-02-05&pli=1](https://aistudio.google.com/prompts/new_chat?model=gemini-2.0-pro-exp-02-05&pli=1).
56. GPT-4o (Omni). URL: <https://openai.com/index/hello-gpt-4o/>.
57. Grok 3. URL: <https://grok.com/>.
58. Grok 3 Signup. URL: <https://accounts.x.ai/signup?redirect=grok-com&theme=light>.
59. What is reinforcement learning from human feedback (RLHF). URL: <https://bdtechtalks.com/2023/01/16/what-is-rlhf/>.
60. What are large language models (LLMs)? URL: <https://www.elastic.co/what-is/large-language-models>.
61. Искусственный интеллект: генерация изображения. URL: <https://goosu/MKpDW>.



# Электропитание IoT-устройств: проблемы и перспективы

Валерий Жижин

В статье рассматриваются методы электропитания традиционных IoT и промышленных IIoT сетевых устройств Интернета вещей. Приводится классификация и анализ характеристик как существующих, так и перспективных систем электропитания. Приведены примеры схмотехнической реализации модулей питания на основе современных преобразователей «свободной» энергии в электричество, а также беспроводного энергообеспечения.

## Введение

В настоящее время получили активное развитие технологии Интернета вещей как в бытовом (Internet of Things – IoT), так и в промышленном (Industrial Internet of Things – IIoT) исполнении.

Бытовой IoT – домашние «умные» устройства, объединённые в сеть и через приложения на компьютере подключённые к облачным сервисам.

Промышленный IIoT – датчики, актуаторы и другие устройства, связанные в сеть, а также промышленные программные приложения, управляющие этими устройствами, установленные на компьютерах. Возможность подключе-

ния всех этих устройств в сеть позволяет собирать, обмениваться, автоматизировать и анализировать данные с минимальным участием человека.

На современном этапе промышленный Интернет вещей особо востребован в системах вооружений [1]. Появилось новое технологическое направление, получившее название Интернет боевых вещей (Internet of Battle Things, IOBT).

IOBT стал проникать во многие разделы военных операций, начиная от решения задач высокоточного обнаружения и уничтожения противника и заканчивая мониторингом физического состояния конкретного военнослужащего.

К сферам боевого применения IoT-технологий уже сейчас относят мониторинг ситуации в реальном времени на поле боя для различных уровней военнослужащих (высший командный состав, командиры подразделений, отдельный боец), медицинское обеспечение (на поле боя и в штатной ситуации), логистическая поддержка войск.

В промышленности IIoT-системы прежде всего востребованы в сетевом мониторинге сложных промышленных объектов, таких как тепло- и гидроэлектростанции, мосты, высотные здания, объекты железнодорожной и автомобильной инфраструктуры, а также объекты нефтегазовой отрасли.

Активно внедряются IIoT-устройства и в агропромышленный комплекс.

Согласно аналитическим отчётам, в будущем Интернет вещей трансформирует многие отрасли индустрии, на которые приходится примерно две трети мирового экономического производства. Ожидается, что к 2030 году рынок



Рис. 1. Классификация способов электропитания IoT-устройств



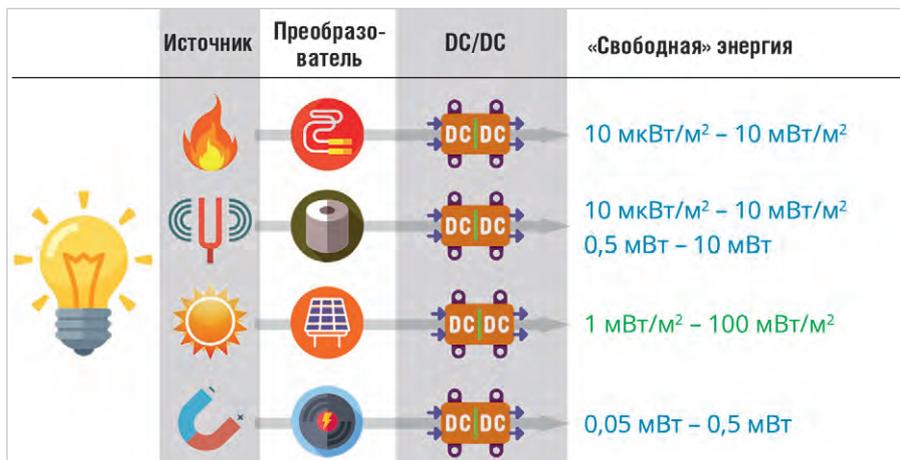


Рис. 3. Сравнительная характеристика источников свободной энергии

## Применение альтернативного электропитания

Методы энергоснабжения с использованием альтернативного электропитания (Технология Energy Harvesting) можно разделить на 2 категории (рис. 1):

- с использованием «свободной» энергии;
- беспроводное электропитание от внешних источников.

## Электропитание с использованием «свободной» энергии

Под «свободной» энергией понимается энергия окружающей среды, порождаемая естественными источниками (Солнце, ветер, водная среда, термические источники) или возникающая как побочный продукт работы промышленных установок (станки, транспортные средства, линии ЛЭП, антенны базовых станций мобильной связи). Сравнительная характеристика источников свободной энергии представлена на рис. 3.

Как следует из рисунка, при применении фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии с DC/DC-конвертером можно получить высокоэффективный мощный источник питания, генерирующий порядка 100 мВт/м<sup>2</sup>.

Наименее эффективными являются источники электропитания на основе фоновых электромагнитных волн и магнитных полей, создаваемых промышленными установками.

Тем не менее появились публикации [3] об использовании Wi-Fi роутеров для беспроводного электропитания различных маломощных устройств – от температурных сенсоров до камер небольшого разрешения. Отмечается, что при этом не происходит существенное снижение качества предоставляемой роу-

тером связи. Удалённость преобразователя от роутера, достигнутая группой исследователей из Вашингтонского университета во главе с Джошуа Смитом, составила 5 м.

В качестве первичных преобразователей (сборщиков энергии) наиболее распространены фотоэлектрические преобразователи, вибропреобразователи механической энергии в электричество и термоэлектрические модули (ТЭМы).

В фотоэлектрических преобразователях при воздействии светового излучения на активный полупроводниковый слой высвобождаются электроны, создающие электрический ток в замкнутой цепи, который может быть использован для питания внешней нагрузки.

Функционирование вибропреобразователей основано на том, что в результате деформации, вызванной вибрацией, на поверхности пьезоэлектрических пластин возникает электрический заряд, порождённый пьезоэффектом.

Термоэлектрический полупроводниковый модуль построен на эффекте Зеебека, заключающегося в появлении ЭДС в замкнутой цепи на спае из разнородных материалов, имеющих различные температуры. Выходное напряжение ТЭМа определяется разностью температур его различных сторон и числом последовательно включённых полупроводниковых ячеек.

КПД современных солнечных батарей достигает 25–26%, КПД пьезопреобразователей вибрационных колебаний в электрический заряд не превышает 5%. Типичное значение КПД термоэлектрических модулей составляет 3–5%.

Перечисленные виды преобразователей имеют небольшое выходное напряжение, порядка 10...100 мВ.

С учётом перечисленных факторов схемы электропитания на основе

методов с использованием «свободной» энергии должны содержать повышающий DC/DC-преобразователь и ионистор, выполняющий функцию буферного элемента. По своим электрическим характеристикам он эквивалентен конденсатору, а выполняет роль компактного аккумулятора. Ток саморазряда ионистора достаточно мал, порядка 20 мкА, а электрическая ёмкость велика (0,5–5 Ф), чтобы сохранять накопленный заряд в течение длительного времени, прежде чем отдать часть накопленной энергии в нагрузку. Рабочий температурный диапазон ионистора может составлять –40...+60°C.

Номенклатура микросхем-преобразователей (производитель – Linear Technology) для различных видов энергии представлена на рис. 4.

Протоколы работы IoT строятся с учётом того, что все приёмопередающие устройства беспроводной сети постоянно находятся в «спящем» состоянии, «просыпаясь» на 1–2 секунды для обмена данными с редкой периодичностью (один раз в час или реже).

Мировыми лидерами в разработке и производстве преобразователей энергии окружающей среды в электричество и микромодулей на их основе являются компания EnOcean (Германия) и Linear Technology (США).

В России крупнейшим производителем пьезопреобразователей и изделий на их основе является компания АО «НИИ «ЭЛПА» (г. Зеленоград).

Российским лидером в производстве фотоэлектрических преобразователей является предприятие «Завод Энкор» – крупный производственный комплекс кремниевых пластин и фотоэлектрических ячеек (г. Черняховск, Калининградская область).

Подробная информация о физических принципах работы и видах их преобразователей содержится в работах [4, 5].

Методы электропитания на основе «свободной» энергии находят применение при развёртывании традиционного IoT в умных домах и офисах – микропотребляющие счётчики тепло- и водоресурсов, портативные метеостанции, датчики влажности и освещённости в помещениях и др.

При развёртывании промышленных PoT-систем методы батарейного питания или преобразования «свободной» энергии в электричество становятся неэффективными, поскольку приложения промышленного Интернета вещей работают с большими объёмами дан-

|   | ПАРТНОМЕР       | ИСТОЧНИК                       |
|---|-----------------|--------------------------------|
| 1 | LTC3105         | СВЕТ                           |
| 2 | LTC3108/-1      | ТЕПЛО                          |
| 3 | LTC3109         | ТЕПЛО                          |
| 4 | LTC3588/-2      | ВИБРАЦИЯ                       |
| 5 | LTC3652         | СВЕТ                           |
| 6 | LTC4070         | СВЕТ, ВИБРАЦИЯ                 |
| 7 | LTC4071         | СВЕТ, ВИБРАЦИЯ                 |
| 8 | LTC3330/1 (НИТ) | СВЕТ, ВИБРАЦИЯ, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ |

Рис. 4. Номенклатура микросхем-преобразователей (производитель Linear Technology) для различных видов энергии



Рис. 5. Пример расположения сенсорных IoT-устройств

ных, требуют большего потребления и высокой надёжности.

По этим причинам приложения IoT требуют новых способов доставки электропитания. Одним из решений может быть беспроводное электроснабжение от специальных внешних источников.

### Беспроводное электропитание от внешних источников

Промышленный Интернет вещей объединяет устройства в отраслях с высокими рисками, таких как нефтегазовая отрасль, производство электроэнергии, химическая промышленность и здравоохранение, где отказы систем или незапланированные простои, вызванные (в частности) сбоями энергоснабжения, могут привести к аварийным ситуациям.

Беспроводное питание может предоставить новые возможности для надёжного бесперебойного электропитания IoT-устройств, создавая тем самым возможности для инноваций.

Основные требования, предъявляемые к методам беспроводного электропитания и системам на их основе:

- бесперебойность подачи электроэнергии;
- электромагнитная совместимость с промышленным оборудованием;
- возможность функционирования во взрывоопасных средах.

Системы беспроводного электропитания предполагают использование буферных накопителей – конденсаторов. Пример IoT-устройства с питанием от вибрационного харвестера показан на рис. 5. Здесь применено два 5-фарадных конденсатора (элементы голубого цвета).

Можно выделить 3 способа энергообеспечения, потенциально применимых в системах беспроводного электропитания: с использованием источников ИК-излучения, магнитоиндуктивные

системы ближнего действия и радиоизлучающие системы дальнего действия.

### ИК-системы

Беспроводной источник питания большой дальности, использующий инфракрасное излучение, например ИК-прожектор, может быть идеальным источником питания для беспроводной доставки энергии в промышленных условиях. Он может доставлять значительные объёмы энергии при соблюдении всех стандартов безопасности потребителей. Он может работать в сложных условиях, не мешая Wi-Fi, LTE, NB-IoT или другим протоколам передачи данных.

Использование ИК-прожекторов для систем беспроводного питания наиболее привлекательно, поскольку, во-первых, разработчиками накоплен большой опыт проектирования и наладки мощных ИК-систем в устройствах видеонаблюдения и периметральной охранной сигнализации, а во-вторых, достаточно отработана недорогая элементная база фотоэлектрических преобразователей в ИК-диапазоне.

Для иллюстрации возможностей данного метода проведём его энергетическую оценку.

В качестве источника излучения возьмём серийный ИК-прожектор DB56-850 со следующими характеристиками: угол излучения  $\Theta = 15$  градусов, мощность  $P_0 = 14$  Вт, центральная длина волны 850 нм. Габаритные размеры прожектора составляют  $83 \times 110 \times 61$  мм.

Для приёма будем использовать типовой промышленный фотоэлектрический преобразователь размерами  $70 \times 55$  мм со спектральной чувствительностью на этой длине волны  $S = 0,92$  А/Вт, расположенный на расстоянии  $L = 10$  м.

ИК-прожектор излучает в конус с плоским углом при вершине 15 градусов и высотой 10 м.

При распространении в прямой видимости поток мощности в плоскости расположения фотоприёмника определяется выражением

$$E = P_0 / (\pi \times L \times \text{tg } \Theta / 2)^2. \quad (1)$$

Ток  $I$ , генерируемый преобразователем, описывается формулой

$$I = E \times S_f \times S, \quad (2)$$

где  $S_f$  – площадь активной пластины фотоэлектрического преобразователя.

Подставляя в выражения (1) и (2) данные, приведённые выше, получим:  $I = 11,5$  мА при площади засветки на дистанции 10 м  $4,4$  м<sup>2</sup>.

Суммарное напряжение на выходе фотоэлектрического преобразователя составляет 5 В, и, следовательно, мощность, доставляемая к устройству, составит порядка 57 мВт.

Данный уровень мощности при наличии конденсатора может обеспечить длительное функционирование абсолютного большинства беспроводных сенсорных узлов.

К недостаткам метода с использованием ИК-прожектора следует отнести функционирование в условиях прямой видимости и необходимость защиты персонала от прямого воздействия ИК-излучения.

### Магнитоиндуктивные системы ближнего действия

Системы беспроводного питания данного типа подразделяются на 2 группы: использующие индуктивную связь и магниторезонансную связь [6].

Индуктивная связь основана на явлении электромагнитной индукции, когда первичная катушка передатчика энергии генерирует переменное магнитное поле, которое проходит через вторичную катушку приёмника энергии. Рабочая частота индуктивной связи находится в диапазоне нескольких килогерц.

Для повышения эффективности зарядки вторичная катушка долж-

на быть настроена на рабочую частоту. Добротность такой системы имеет низкие значения (ниже 10), поскольку передаваемая мощность быстро снижается при повышении добротности. Из-за отсутствия компенсации добротности эффективное зарядное расстояние таких систем не превышает 50 см. Эффективность метода зависит от взаимного расположения передающей и приёмной катушек. Она максимальна при их параллельном расположении. Поэтому для произвольной конфигурации

IoT-устройств в помещении топология системы питания должна предусматривать 3D-расположение передающих магнитных катушек (рамок).

Магниторезонансная связь основана на взаимодействии с затухающей волной, которая генерирует и передаёт электрическую энергию между двумя резонансными катушками через осциллирующие магнитные поля.

Благодаря использованию эффекта резонанса преимуществом магниторезонансной связи является игнорирование

влияния внешней среды и отсутствие требования прямой видимости передающего и принимающего устройств. Экспериментальные магнитосвязанные резонаторы показали способность передавать энергию на большие расстояния, чем устройства индуктивной связи той же мощности, и с более высокой эффективностью, чем при помощи радиочастотного (RF) излучения. Кроме того, магниторезонансная связь может быть использована для передачи энергии на несколько устройств при помощи одного передатчика, благодаря чему данный метод позволяет запитывать несколько устройств одновременно.

Недостатками магнитоиндуктивных систем являются ограниченность радиуса действия (1...3 м) и сложность конструкции передающего устройства.

Потенциальная область использования магнитоиндуктивных систем – складские (магнитные рамки расположены по периметру стеллажей), а также небольшие производственные и офисные помещения.

На данный момент магнитные методы обеспечения электропитанием находят применение в основном в беспроводных зарядных терминалах для мобильных устройств.

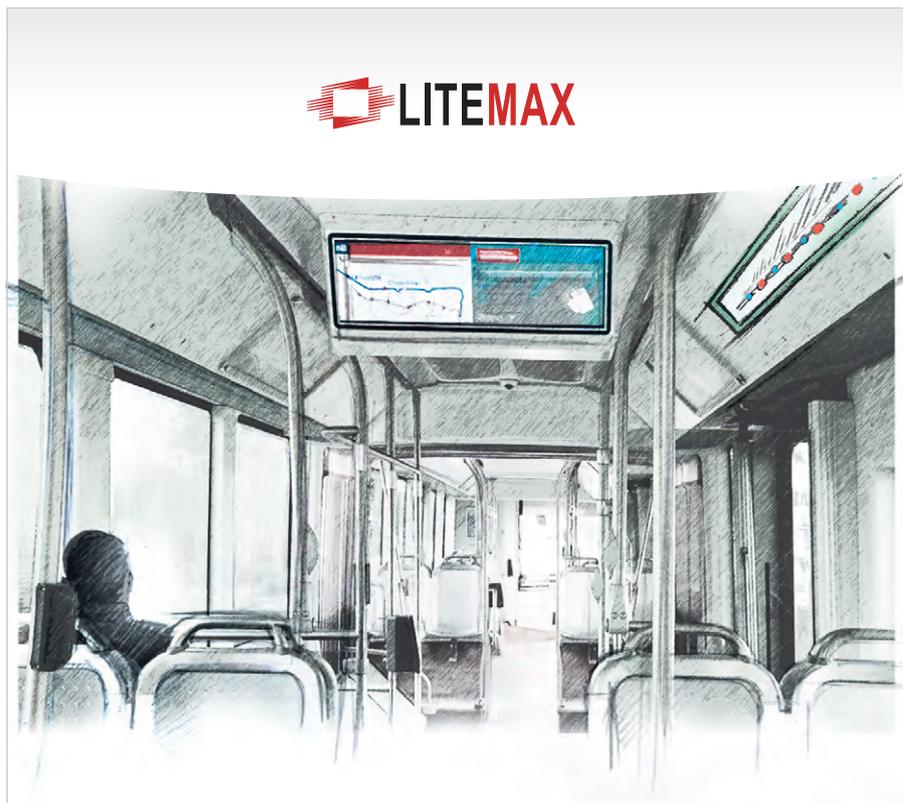
### Радиоизлучающие системы дальнего действия

В этих системах средой для переноса энергии является RF-излучение микроволнового диапазона. RF-излучение может быть изотропным или направленным.

Изотропное используется для широкоэмиттерных приложений.

При передаче точка-точка направленное излучение может повысить эффективность передачи энергии. Для формирования направленного излучения используется массив фокусирующих антенн или антенны на основе апертурных решёток. Эффективность формирования луча повышается с увеличением количества передающих антенн. Использование антенн увеличенного размера также способствует повышению дальности передачи энергии. На коммерческом рынке уже присутствуют устройства для беспроводной зарядки на основе RF-излучения, например, передатчик Powercaster и приемник Powerharvester [7], которые обеспечивают изотропную передачу мощности 1 или 3 Вт.

Помимо более высокой дальности передачи, микроволновое излучение



## ВАШ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОПУТЧИК!

### Полосковые дисплеи для транспорта

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

**PROCHIP**  
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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



Рис. 10

имеет ещё одно преимущество – совместимость с существующими системами связи. Посредством RF-излучения возможно одновременно передавать и энергию, и информацию. Концепция использования одновременной передачи информации и энергии получила название SWIPT (Simultaneous Wireless Information and Power Transfer). Для внедрения SWIPT были разработаны усовершенствованные интеллектуальные антенны, используемые на стороне приёмника. Другой подход к внедрению подобных систем, имеющий определённые экономические преимущества, предусматривает развёртывание выделенных силовых маяков, действующих совместно с существующей системой связи.

К недостаткам радиоизлучающих систем следует отнести небезопасность при высоких энергиях, низкую эффективность зарядки ионистора, PoT-устройства должны находиться в прямой видимости с передатчиком.

При конкретной реализации IoT- и PoT-сетей возможна комбинация методов электропитания с использованием «свободной» энергии и беспроводных способов передачи энергии от внешних источников.

## Выводы

Происходит активное внедрение технологий Интернета вещей в повседневную жизнь, особенно в индустриальной и военной сфере.

Для того чтобы реализовать потенциал данных технологий, необходимо решить ряд ключевых проблем, которые в настоящее время ограничивают функциональность IoT- и PoT-устройств, важнейшей из которых является проблема обеспечения надёжным бесперебойным электропитанием. Традиционные способы автономного питания на основе электрохимических батарей и АКБ для PoT-устройств неэффективны, поскольку имеют ограниченный энергоресурс и существует необходимость периодической замены батарей.

По этим причинам приложения PoT требуют новых способов доставки электропитания. Одним из решений может быть применение инновационных методов альтернативного электропитания с использованием источников «свободной энергии» и беспроводное электроснабжение от специальных внешних источников. Кроме того, возможна комбинация этих методов при реализации конкретных проектов.

Стимулом к технической реализации систем электропитания на основе перечисленных методов является наличие и постоянное усовершенствование микроэлектронной элементной базы фотоэлектрических, термоэлектрических и вибромеханических конвертеров.

## Литература

1. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_of\\_Military\\_Things](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_Military_Things).
2. URL: <https://www.ariat-tech.ru/newProduct/LTC3330-Energy-Harvesting-Buck-Boost-Converters.html>.
3. URL: <https://nplus1.ru/news/2015/06/04/wificam>.
4. Бренев А. Компоненты для систем EnOcean // Беспроводные технологии. 2014. № 1. С. 30–34.
5. Холостых А., Косенко С., Башмаков И. LTC3330 – энергосберегающее решение для беспроводной сети // Вестник электроники. 2015. № 4(54). С. 30–38.
6. Чжу Хан. Технологии беспроводной зарядки. Часть 1. Теоретические основы и способы аппаратной реализации // Беспроводные технологии. 2017. № 3. С. 56–64.
7. URL: [https://www.academia.edu/88776981/Evaluation\\_of\\_RF\\_Wireless\\_Power\\_Transfer\\_for\\_Low\\_Power\\_Aircraft\\_Sensors](https://www.academia.edu/88776981/Evaluation_of_RF_Wireless_Power_Transfer_for_Low_Power_Aircraft_Sensors). ©

## НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

### Первый в мире однокристалльный многоволновой лазер

Французская компания Scintil Photonics представила первый в мире однокристалльный многоволновой лазерный источник LEAF Light, предназначенный для высокоскоростных сетей центров обработки данных (ЦОД) с искусственным интеллектом.

#### Новая оптическая технология для ИИ-ЦОД

LEAF Light использует технологию DWDM (мультиплексирование с плотным разделением по длине волны) и обладает самой высокой точностью расстояния между длинами волн в мире. Этот компонент играет ключевую роль в масштабировании ЦОД, работающих с ИИ, обеспечивая быструю и энергоэффективную передачу данных.

С развитием искусственного интеллекта традиционные медные кабели больше не справляются с увеличивающимися объёмами трафика, а их пропускная способность достигла предела. Оптические сети DWDM заменяют устаревшую технологию CWDM, обеспечивая меньшую задержку, более высокую энергоэффективность, увели-

ченную плотность пропускной способности и скорость передачи данных до 2 Тбит/с по одному волокну.

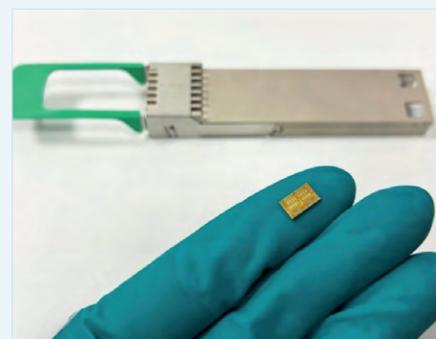
#### Инновационная технология SHIP

LEAF Light производится по запатентованной технологии Scintil Heterogeneous Integrated Photonics (SHIP), которая объединяет материалы III-V с кремниевой фотоникой. Это делает возможным массовое производство на коммерческих литейных заводах, таких как TSMC, X-Fab и STMicroelectronics.

Благодаря такой технологической совместимости LEAF Light может масштабироваться до десятков миллионов единиц в год и использоваться в формате ELSFP (External Laser Small Form-Factor Pluggable) – компактном модуле для сетевых решений.

#### Преимущества ELSFP

ELSFP – это новый форм-фактор для подключения многоволновых лазеров в стойках ЦОД. Он обеспечивает размещение лазеров в передней части системы, что улучшает охлаждение и надёжность, подключение «вслепую» через многоволоконный разъём, повышая удобство использования, а также поддержку горячей замены, упрощая обслуживание и модернизацию.



#### Будущее LEAF Light

Сильви Мenezо, основатель и технический директор Scintil Photonics, отметила: «Мы создали однокристалльный лазерный источник с 8–16 мультиплексированными лазерами с шагом 200 ГГц или 100 ГГц. Также мы разработали управляющую электронику и упаковку для интеграции в ELSFP».

В 2026 году планируется доступность инженерных образцов ELSFP для массового рынка.

Этот лазерный источник может стать важным элементом в развитии центров обработки данных с искусственным интеллектом, обеспечивая высокую скорость, энергоэффективность и масштабируемость.

# Автоматический дискретный регулятор температуры

Олег Вальпа

Приведено описание автоматического дискретного регулятора температуры, разработанного автором статьи на основе программируемого логического контроллера.



Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по ссылке в QR-коде

## Введение

Важную роль в автоматизации технологических процессов выполняют регуляторы, обеспечивающие поддержание заданного параметра среды с помощью исполнительных устройств. Регуляторы бывают дискретные и аналоговые. Дискретные регуляторы могут иметь два состояния выходного сигнала регулирования электрического исполнительного устройства: включённое и отключённое. Данные регуляторы применяются, например, в системах нагревателей воды, управления штоковыми приводами, линейными актуаторами и т.п. Аналоговые регуляторы имеют выходной сигнал регулирования, изменяющийся в определённом диапазоне напряжения, например, от 0 до 10 вольт. Такие регуляторы управляют вентиляторами, приводами клапанов и задвижек и т.п.

В настоящее время регуляторы проектируют на базе различных контроллеров. Часто для разработки регуляторов применяют программируемые логические контроллеры (ПЛК).

## Дискретный регулятор температуры

Рассмотрим процесс создания регулятора на конкретном примере. В качестве основы регулятора выбран один из широко распространённых и недорогих ПЛК под названием Matrix отечественной компании Segnetics [1]. Данный ПЛК имеет цветной графический дисплей, кнопки управления, светодиодные индикаторы, дискретные входы DIN, релейные и оптические выходы DOUT, аналоговые входы AIN, аналоговые выходы AOUT, встроенные энергонезависимые часы с памятью, интерфейс RS-485 и System Bus. Опционально в него может быть

установлен сетевой модуль интерфейса Ethernet. Модельный ряд контроллеров Matrix довольно широк и определяет состав портов и интерфейсов. Внешний вид одной из развитых моделей ПЛК Matrix представлен на рис. 1. Интерфейс System Bus позволяет подключить к ПЛК несколько модулей расширения с целью увеличения количества портов ввода-вывода.

Рассмотрим конкретный пример разработки устройства, предназначенного для автоматического регулирования температуры воды. Схема данного устройства приведена на рис. 2.

В качестве нагревательного элемента в схеме применён промышленный трубчатый электрический нагреватель (ТЭН). Его мощность выбирается в соответствии с ёмкостью бака для воды и обычно составляет от 1 до 2 кВт. С целью повышения надёжности работы системы в схеме примене-

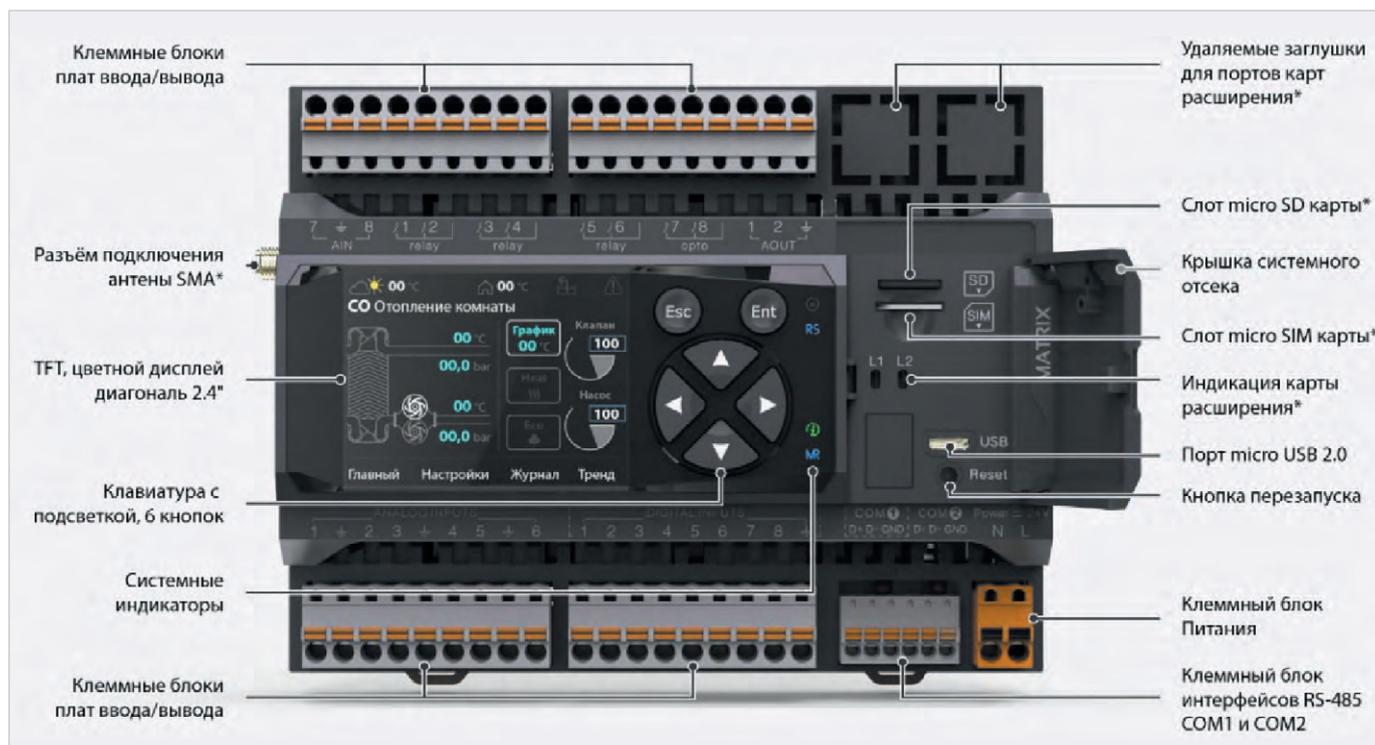


Рис. 1. Внешний вид ПЛК Matrix

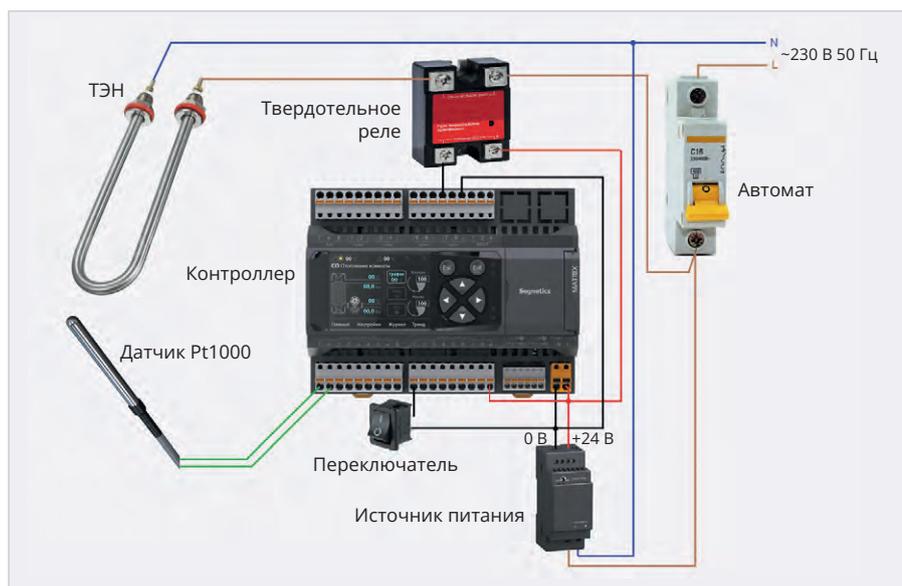


Рис. 2. Схема регулятора температуры воды

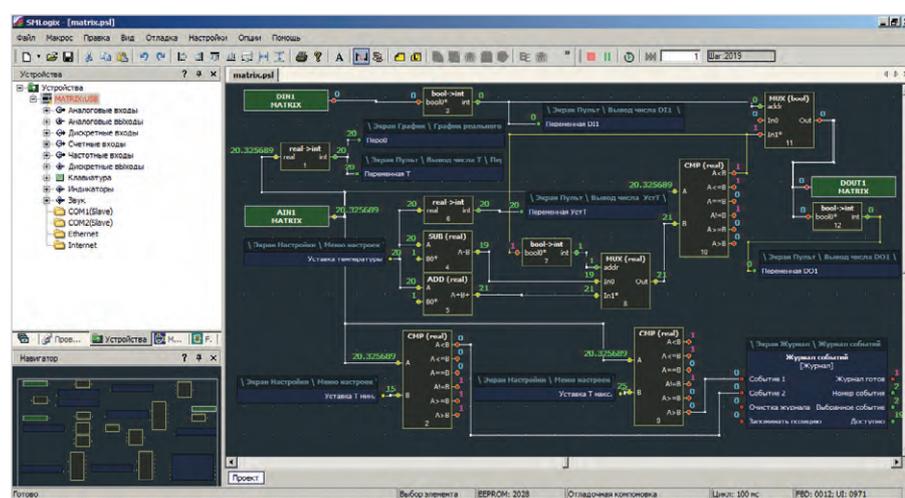


Рис. 3. Главное окно разработки

но твердотельное реле, которое является полупроводниковым устройством и работает в ключевом режиме. Благодаря малому сопротивлению открытого канала данного элемента на нём формируется малое падение напряжения и рассеивается в виде тепла минимальная мощность. Кроме того, включение и отключение нагрузки в этом элементе производится при переходе переменного напряжения через ноль. Это позволяет устранить возникающие при коммутации мощных нагрузок электрические возмущения, засоряющие промышленную питающую сеть.

Входной защитный автомат обесточивает схему в случае поломки системы и предотвращает возникновение пожара.

Источник питания формирует постоянное питающее напряжение 24 В для контроллера и цепей управления нагрузкой.

Включение и отключение системы производится с помощью переключателя, подключённого к дискретному входу контроллера.

Датчиком температуры воды служит промышленный, широко распространённый платиновый датчик Pt1000, погружаемый в нагреваемую воду. Этот датчик имеет широкий диапазон измерения температуры – от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ . При  $0^{\circ}\text{C}$  его сопротивление составляет 1000 Ом, отсюда и сформировалось его обозначение: Pt1000.

Центральным узлом системы является программируемый логический контроллер Matrix с управляющей программой.

## Программа

Для программирования ПЛК его производителем создана свободно распространяемая среда разработки

SMLogix [2]. Данная среда позволяет разрабатывать программы на языке FBD, т.е. путём применения различных логических и математических блоков, соединяемых между собой связями. Достаточно подробное описание этой среды разработки и работы с ней приведено в источнике [3].

Программа предоставит оператору возможность настройки, визуального контроля работы системы и графического отображения температуры воды.

Процесс разработки начинается с обычной установки среды разработки на персональный компьютер. После установки и запуска среды разработки на экране монитора компьютера появится главное окно разработки, показанное на рис. 3.

Весь проект программы удалось разместить в одном окне. В проекте использованы компараторы, мультиплексоры, сумматоры и преобразователи данных.

Вход DIN1 подключён к мультиплексору, с помощью которого производится подключение выходного сигнала DOUT1 к схеме управления или отключения от неё. Таким образом, можно запускать или останавливать регулятор внешним переключателем.

С помощью встроенного в среду разработки конфигуратора портов SBconfigurator, вызываемого нажатием правой кнопки мыши по устройству Matrix:USB → Настройка → Ресурсы → AIN1, входной аналоговый порт AIN1 настраивается на подключение к нему датчика температуры Pt1000. Окно конфигуратора портов показано на рис. 4.

В результате такой настройки данные со входа AIN1 будут отображаться в программе в градусах Цельсия без дополнительных преобразований.

Данные датчика температуры поступают через входной порт AIN1 на компаратор и сравниваются с заданной в настройках температурой воды в баке. В зависимости от результата сравнения формируется выходной сигнал регулирования, подключённый через мультиплексор к выходному порту DOUT1.

Таким образом, при температуре воды меньше заданной в настройках системы нагреватель будет включаться, а при достижении заданной температуры – отключаться. В схеме также предусмотрено формирование гистерезиса температуры в 1 градус Цельсия.

Кроме того, в схему добавлено два компаратора для формирования аварийного оповещения персонала при переходе температуры воды верхней или нижней заданной границы.

Синие прямоугольники на схеме с установками, переменными и прочими данными сформированы с помощью встроенного программного инструмента SMArt на панели инструментов. Окно программного инструмента SMArt приведено на рис. 5.

Здесь создаются экраны будущего интерфейса и их наполнение. Кроме того, задаются кнопки для переходов между экранами. Главным окном в данном проекте является окно меню, на котором размещаются графические значки для остальных экранов с их названиями. Значки выбираются из готовой библиотеки среды разработки и хранятся в каталоге: C:\Program Files (x86)\SMLogix\PixelArt\ColorIcons\128pix\Ravenna.

В экран «Справка» вводится текст описания программы. На экран «Пульт» добавляются элементы текста и вывода чисел для обеспечения наблюдения за системой оператором. Экран «Настройки» заполняется энергонезависимыми уставками температуры и её границ. Экран «Время» формируется автоматически после размещения на нём готового элемента экрана «Время и дата» из самого программного инструмента SMArt. Аналогично создаётся экран «Журнал» и «График». В составе элемента графика присутствует перо, для которого задаётся диапазон рисования, например, от 0 до 100 градусов Цельсия.

Теперь окно инструмента SMArt можно закрыть или оставить открытым и переключиться на главное окно среды разработки.

После проделанных операций в закладке UI появится окно списка элементов всех экранов дисплея контроллера.

Элементы данного списка помещаются на поле схемы в виде синих прямоугольников, и к ним подключаются связи, показанные на рис. 3.

## Загрузка проекта

Загрузка программы в контроллер производится непосредственно из среды разработки SMLogix через кабель связи MicroUSB, подключённый к порту USB компьютера. При этом питание контроллера осуществляется от напряжения 5 В этого же кабеля.

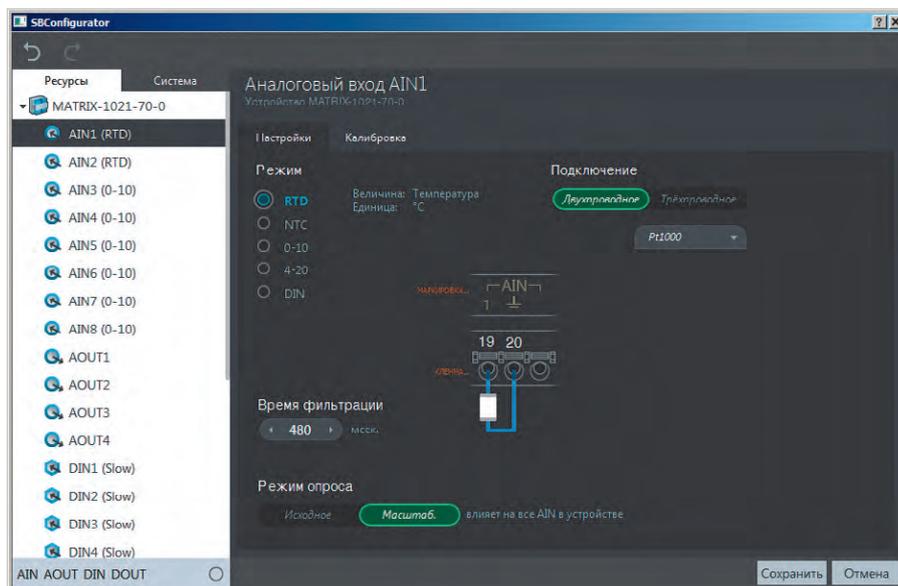


Рис. 4. Окно конфигуратора портов

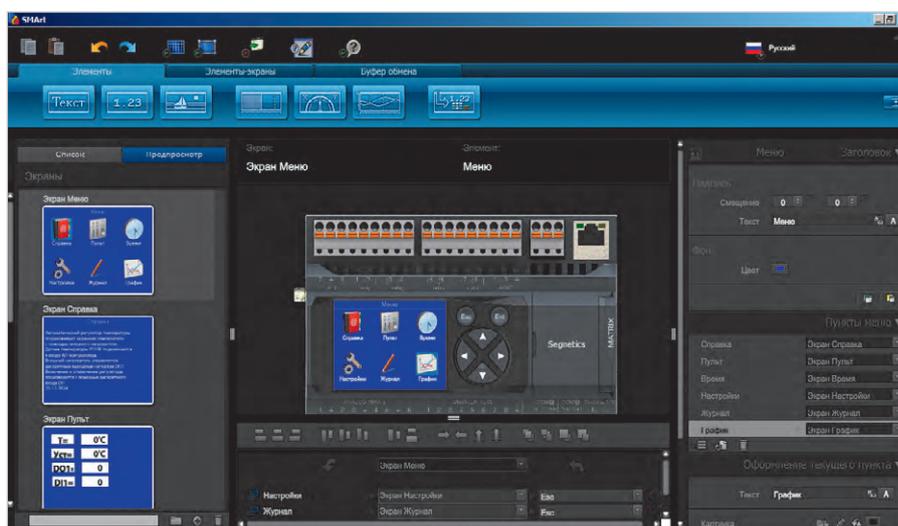


Рис. 5. Окно инструмента SMArt

После загрузки программы проекта в контроллер можно приступить к проверке. Для этого необходимо нажать кнопку «Подключиться с отладкой» на панели инструментов или «F5» на клавиатуре компьютера. При этом проект автоматически транслируется в код загрузочной программы, записывается в контроллер и стартует. На экране компьютера будет отображаться состояние портов и значения сигналов, а на дисплее контроллера – главный экран «Меню».

Замыкая токопроводящей перемычкой вход DINO контроллера с общей цепью, можно визуально проверить его работу по изменению сигнала на экране монитора компьютера и экране «Пульт» контроллера.

В качестве выходного порта DOUT желательно использовать порт контроллера с оптроном, поскольку он

имеет неограниченный ресурс для переключений. В отличие от него, порты с электромеханическими реле имеют ограничение в 100 тысяч переключений.

Для проверки входа AIN1 можно использовать резистивный потенциометр на 3 кОм, который будет имитировать датчик температуры Pt1000. Сопротивление в 1 кОм будет соответствовать температуре датчика 0°C.

Готовый файл проекта размещён на сайте журнала и может быть использован для дальнейшего развития.

## Источники и ресурсы:

1. URL: <https://segnetics.com/ru/Matrix>.
2. URL: [https://dl.segnetics.com/PRODUCTS/SMLogix/Version\\_3.35/Lite\\_Pack/](https://dl.segnetics.com/PRODUCTS/SMLogix/Version_3.35/Lite_Pack/).
3. URL: <https://www.cta.ru>.



# Сенсорные регуляторы яркости с фазоимпульсным и ШИМ-управлением

Александр Одинец

В статье рассматриваются два варианта регуляторов яркости с фазоимпульсным и широтно-импульсным управлением, предназначенных для работы с лампой накаливания в промышленной сети с напряжением 220 В.

## Общие сведения

В настоящее время в промышленном производстве освоены и выпускаются регуляторы яркости на основе специализированной ИМС K145АП2, а также в микроконтроллерном исполнении. К сожалению, подобные кон-

струкции имеют ряд недостатков, которые делают применение их затруднительным или в некоторых случаях вообще невозможным по причине их низкой помехоустойчивости или необходимости правильной фазировки, когда фазный вывод конструк-

ции должен подключаться к фазному проводу сети, а нулевой – к нулевому. В то же время большинство опубликованных решений регуляторов яркости в микроконтроллерном исполнении сопровождаются только демоверсиями прошивок, которые ограничивают функциональные возможности регулятора и зачастую работают нестабильно.

От перечисленных выше недостатков свободны две предлагаемые конструкции, выполненные на основе

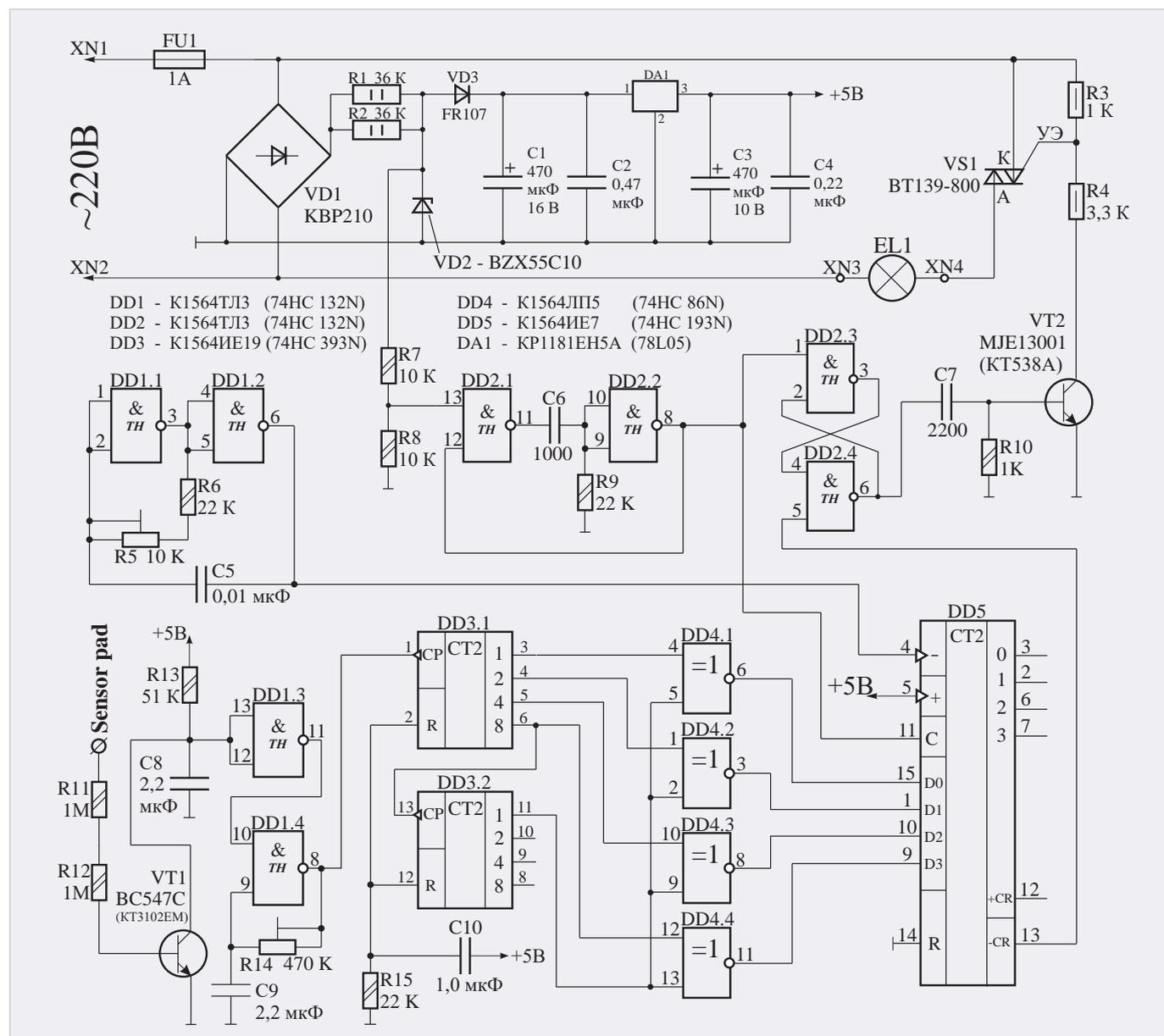


Рис. 1. Сенсорный регулятор яркости. Вариант 1. Схема электрическая принципиальная

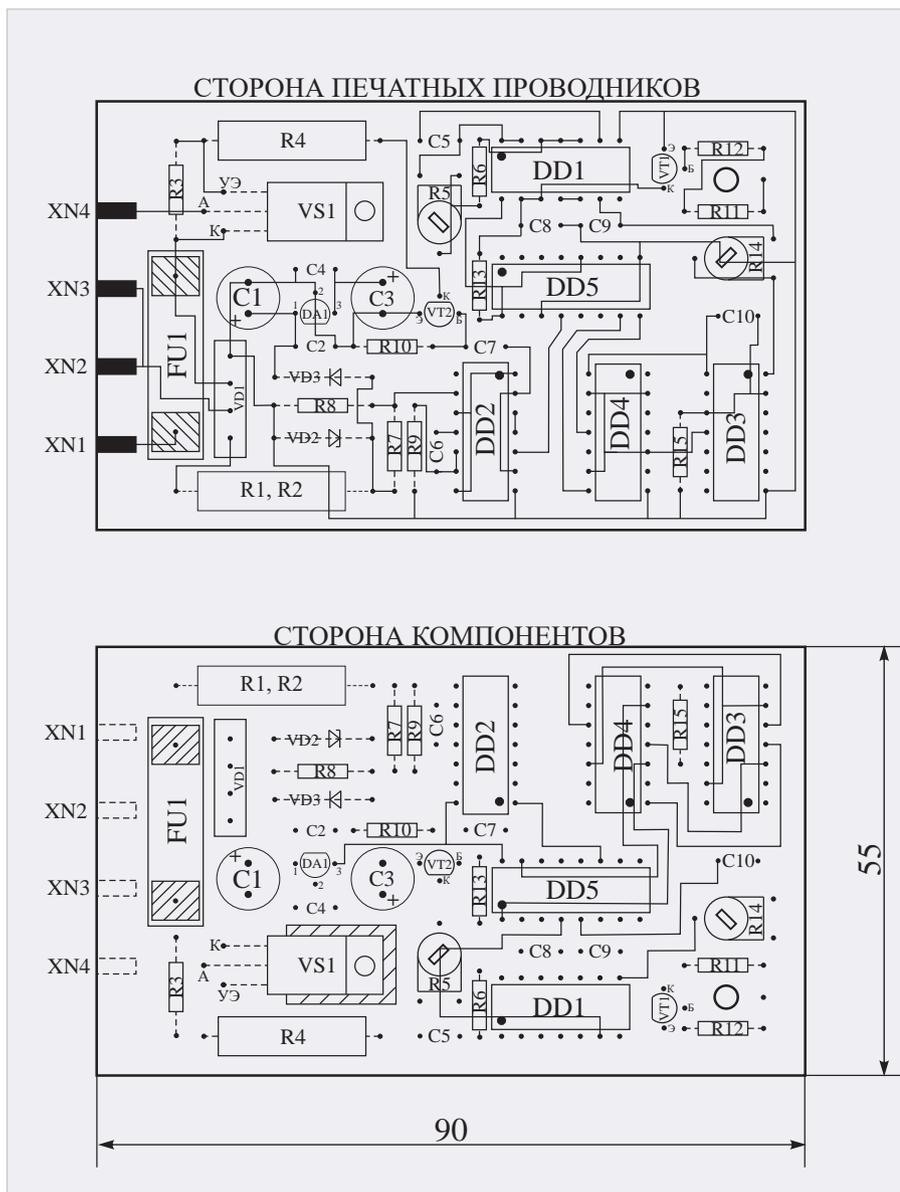


Рис. 2. Сенсорный регулятор яркости. Вариант 1. Рисунок печатной платы

распространённых ИМС стандартной логики. Если первый вариант с фазоимпульсным управлением яркостью можно использовать только с лампами накаливания, то на основе второй конструкции с широтно-импульсной модуляцией можно выполнить регулятор яркости светодиодных ламп. Это не означает, что светодиодную лампу можно подключать к регулятору непосредственно. Схемное решение второго варианта контроллера можно взять за основу регулятора яркости светодиодной лампы, а ключевой MOSFET-транзистор использовать в качестве регулирующего звена.

Оба устройства при включении питания устанавливают максимальную яркость лампы. Регулировка яркости производится путём касания рукой (пальцем) сенсорной пластины продолжительное время (в течение

нескольких секунд) или кратковременными касаниями для ступенчатого изменения яркости. Число градаций яркости равно 16. При касании сенсора яркость медленно убывает до минимума, а затем возрастает до максимума и так далее «по кругу». Если руку убрать от сенсора, то уровень яркости запомнится и останется неизменным до следующего касания сенсора или отключения питания.

### Принцип работы

Схема электрическая принципиальная первого варианта устройства с фазоимпульсным управлением показана на рис. 1. Схема содержит: параметрический стабилизатор на элементах VD1, R1, R2, VD2, интегральный стабилизатор DA1 напряжения «5В» и конденсаторы фильтра C1...C4; задающий НЧ-генератор на логический эле-

ментах DD1.1, DD1.2; одновибратор – схему выделения моментов перехода сетевого напряжения через ноль на элементах DD2.1, DD2.2; RS-триггер управления симистором на элементах DD2.3, DD2.4; два усилительных каскада на транзисторах VT1 и VT2; пороговый компаратор DD1.3; генератор прямоугольных импульсов на основе триггера Шмитта DD1.4; схему формирования кодовых комбинаций уровня яркости, в состав которой входят счётчики DD3.1, DD3.2 и цепочка элементов «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» DD4.1... DD4.4, а также реверсивный счётчик-формирователь угла сдвига DD5.

Сущность фазоимпульсного метода управления яркостью заключается в изменении времени задержки открывания симистора, считая с момента перехода сетевым напряжением нулевого значения. Чем больше время задержки, тем больше времени симистор находится в закрытом состоянии, тем меньше яркость, и наоборот, чем раньше открывается симистор, тем больше яркость лампы накаливания.

Рассмотрим работу регулятора яркости, считая с момента перехода напряжением сети нулевого значения. При этом ток через стабилитрон VD2 уменьшается до нуля, и на его катоде формируется отрицательный импульс пилообразной формы амплитудой 10 В. Этот импульс через делитель R7–R8 поступает на вход одновибратора на элементах DD2.1, DD2.2, который формирует из него стабильный по длительности, но уже прямоугольный отрицательный импульс. Этот импульс устанавливает RS-триггер в исходное состояние и одновременно обеспечивает загрузку двоичной комбинации с выходов элементов DD4.1... DD4.4 в собственные двоичные разряды счётчика DD5. По входам «D0...D3» счётчика DD5 будет записана комбинация «0000», так как счётчики DD3.1 и DD3.2 были установлены при включении питания в нулевое состояние благодаря цепочке C10-R15.

Благодаря выходным импульсам генератора (DD1.1, DD1.2), поступающим на вход вычитания (вывод 4) счётчика DD5, происходит уменьшение состояний счётчика, и, как только он достигнет нулевого состояния, а именно в таком состоянии он сейчас и находится, следующий отрицательный импульс на его вычитающем входе вызовет появление на его выхо-

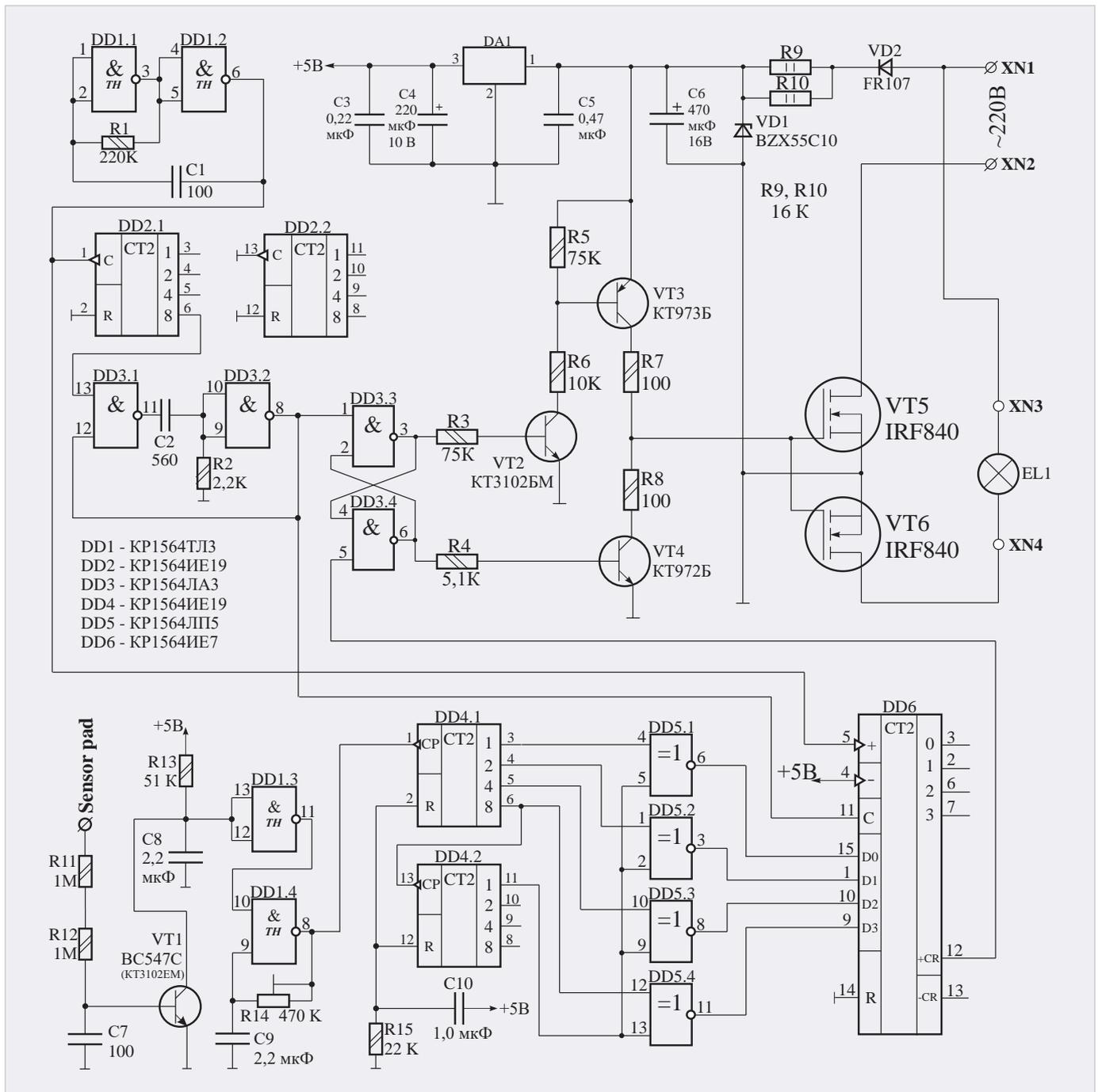


Рис. 3. Сенсорный регулятор яркости. Вариант 2. Схема электрическая принципиальная

де переноса «-CR» (вывод 13) короткого отрицательного импульса и перебор RS-триггера в противоположное состояние. Теперь на нижнем по схеме выходе RS-триггера (выводе 6 элемента DD2.4) появится положительный перепад, который после ограничения по длительности дифференцирующей цепочкой C7-R10 вызовет кратковременное открывание транзистора VT2 и включение симистора VS1. Лампа окажется подключённой к сети и будет светиться с максимальной яркостью. Симистор будет находиться во включённом состоянии до следующего момента перехода сетевым напряже-

нием нулевого значения. Этот процесс будет повторяться с удвоенной частотой сети, т.е. с частотой 100 Гц.

В таком режиме регулятор яркости будет работать до момента касания сенсора. При этом наведённое напряжение с частотой сети 50 Гц поступит через резисторы R11 и R12 на базу транзистора VT1 и откроет его. Начнётся разряд конденсатора C8, и, когда напряжение на входах компаратора DD1.3 станет меньше порогового значения, компаратор переключится, и на его выходе появится уровень «лог. 1». Работа генератора на основе триггера Шмитта DD1.4 будет разре-

шена, и на его выходе появятся прямоугольные импульсы с частотой несколько Гц. Эти импульсы будут увеличивать состояние счётчика DD3.1, а вслед за ним и DD3.2. Пока счётчик DD3.2 находится в нулевом состоянии, выходные комбинации счётчика DD3.2 проходят на выходы соответствующих элементов DD4.1...DD4.4 без инвертирования. Будет происходить постепенное уменьшение яркости до минимума. Когда счётчик DD3.2 установится в единичное состояние, уровень «лог. 1» с выхода его младшего разряда (вывод 11) переключит элементы DD4.1...DD4.4 в режим инвер-

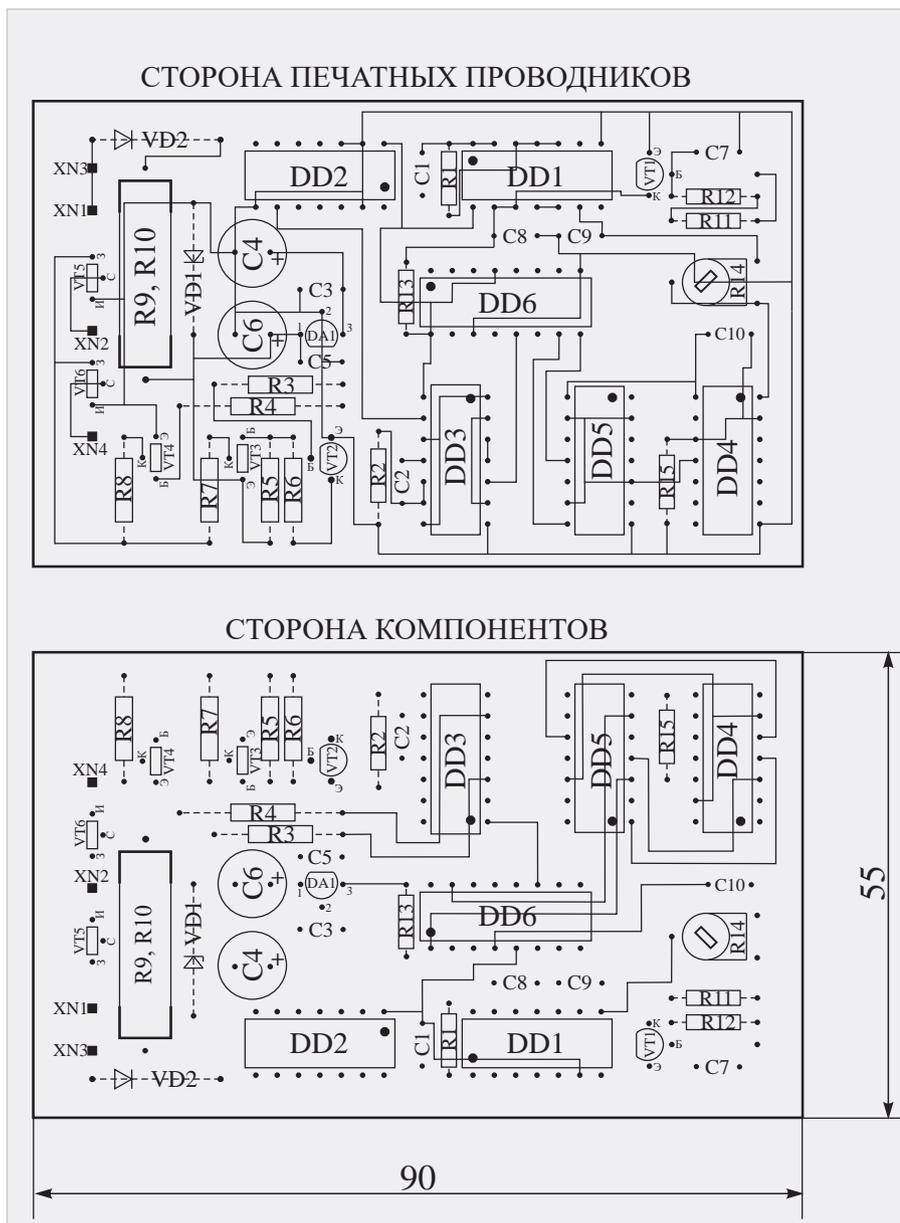


Рис. 4. Сенсорный регулятор яркости. Вариант 2. Рисунок печатной платы.

тирования, и яркость будет возрастать до максимума.

После установки желаемого уровня яркости и отпущения сенсора время задержки открывания симистора будет определяться двоичной кодовой комбинацией, записываемой по входам «D0...D3» счётчика DD5. Состояние счётчиков DD3.1 и DD3.2 будет оставаться неизменным до следующего касания сенсора или выключения и повторного включения питания. Топология печатной платы первого варианта устройства показана на рис. 2.

Схема электрическая второго, более совершенного варианта устройства с **широко-импульсным** управлением показана на рис. 3. В данном устройстве яркость лампы зависит от среднего времени нахождения мощных

ключевых MOSFET-транзисторов в открытом состоянии, которое зависит от **скважности** импульсов. Напомним, что **скважностью** импульса называется отношение периода следования импульсов к длительности импульса.

Нижняя часть схемы по своему функциональному назначению аналогична рис. 1, поэтому подробно её работу рассматривать не будем. Здесь выходные кодовые комбинации элементов DD5.1...DD5.4 представляют собой коэффициенты деления для счётчика DD6, работающего в составе схемы управления яркостью. В состав схемы (рис. 4) также входят: генератор опорных импульсов на элементах DD1.1, DD1.2, работающий с частотой около 32 кГц, счётчик – дели-

тель импульсов на 16 – DD2.1, одно-вибратор – формирователь коротких импульсов на элементах DD3.1, DD3.2, собственно счётчик с переменным коэффициентом деления DD6 и RS-триггер на элементах DD3.3, DD3.4.

В начальный момент времени при подключении автомата к сети интегрирующая цепочка C10-R15 формирует короткий положительный импульс, обнуляющий счётчики DD3.1, DD3.2. Такая же нулевая двоичная комбинация формируется на выходах элементов DD5.1...DD5.4, которая, поступая на входные двоичные разряды счётчика DD6, определяет режим его работы как режим с максимальным коэффициентом пересчёта, что соответствует максимальной яркости лампы накаливания.

В начальный момент времени одно-вибратор на элементах DD3.1, DD3.2 каждый раз по отрицательному перепаду импульса на выходе счётчика DD2.1 формирует на выходе (вывод 8 элемента DD3.2) короткий отрицательный импульс, который производит запись управляющей двоичной комбинации с выходов элементов DD5.1...DD5.4 во внутренние разряды счётчика DD6. Одновременно этот отрицательный импульс устанавливает RS-триггер DD3.3-DD3.4 в исходное единичное состояние. При этом транзисторы VT2, VT3 открыты, а VT4 – закрыт. Оба одновременно открытых мощных ключевых MOSFET-транзистора VT5, VT6 обеспечивают подключение лампы накаливания EL1 к сети как при положительной, так и при отрицательной полуволнах сетевого напряжения. Импульсы задающего генератора, поступающие на суммирующий счётный вход DD6 (вывод 5), обеспечивают увеличение состояний счётчика на единицу с приходом каждого нового импульса. Когда счётчик достигнет переполнения, на его выходе переноса «+CR» (вывод 12) сформируется короткий отрицательный импульс, который перебросит RS-триггер DD3.3-DD3.4 в противоположное нулевое состояние, что приведёт к открыванию транзистора VT4, закрыванию VT2 и VT3 и выключению лампы. Данный процесс повторяется с частотой около 2 кГц, что соответствует частоте задающего генератора 32 кГц, делённой на 16. Таким образом осуществляется ШИМ – модуляция яркости свечения лампы накаливания.

Следует заметить, что питание затворов мощных MOSFET-транзисторов осуществляется напряжением 10 В непосредственно с выхода параметрического стабилизатора VD2, R9, R10, VD1, а для питания цифровой части схемы применён пятивольтовый интегральный стабилизатор DA1.

## Конструкция и детали

Оба варианта устройств собраны на печатных платах из двустороннего фольгированного стеклотекстолита одинакового размера 90×55 мм. В устройствах применены постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, МЛТ-0,5 (R3, R4 – рис. 1), МЛТ-2 (R1, R2 – рис. 1, R9, R10 – рис. 3), конденсаторы неполярные типа К10-17, электролитические – К50-35 или импортные. Интегральный стабилизатор применён типа КР1181ЕН5А (78L05). Стабилитроны – на напряжение стабилизации 9...12 В – могут быть типа Д809, Д814Б, В, Г или импортные ВZХ55С10 или ВZХ55С12, диод VD2 (рис. 3) – кремниевый средней мощности с минимально допустимым обратным напряжением не менее 400 В. Дiodный мост (рис. 1) должен быть в вер-

тикальном исполнении типа КВР210 или аналогичный. Симистор в первом варианте устройства может быть из серий BT137, BT138, BT139 с минимально допустимым рабочим напряжением не менее 400 В. Транзисторы MOSFET типа IRF840 заменимы на IRF740 и другие с минимально допустимым рабочим напряжением сток–исток не менее 400 В и минимально возможным сопротивлением канала в открытом состоянии. Максимальная мощность нагрузки при эксплуатации устройств без радиатора не должна превышать в первом варианте 100 Вт, а во втором – 150 Вт. Автор проверены также транзисторы КП7173А отечественного производства. Их параметры: максимальный ток стока  $I_c = 4$  А, максимально допустимое напряжение сток–исток  $U_{си} = 600$  В. Сопротивление канала в открытом состоянии не более  $R < 20$  мА. Максимальная мощность лампы накаливания в случае применения транзисторов типа КП7173А без радиатора не должна превышать 100 Вт.

Все ИМС серии КР1564 (74НСхх) заменимы на соответствующие аналоги серии КР1554 (74АСхх).

**Настройка** первого варианта регулятора заключается в установке необходимой скорости изменения яркости подстроечным резистором R14 и частоты задающего генератора резистором R5 около 1600 Гц. Сделать это можно визуально прикосновением к сенсору и наблюдением изменения яркости от нуля до максимума. Если частота генератора будет слишком низкой, то перекрытие диапазона яркости будет неполным, и наоборот, если частота будет слишком большой, то снижение яркости до нуля будет преждевременным. Частоту генератора устанавливают таким образом, чтобы изменение яркости точно соответствовало перекрытию диапазона от нуля до максимума.

Второй вариант регулятора нуждается в минимальной настройке для установки скорости изменения яркости подстроечным резистором R14.

В заключение хочется напомнить о правилах электробезопасности при работе с сетью напряжением 220 В. Следует избегать прикосновения к элементам включённого устройства, а при настройке использовать отвёртку с ручкой из изоляционного материала. ☺

## НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

### Малые языковые модели (SLM): новые приоритеты в развитии ИИ

В конце 2022 года OpenAI представила свою крупную языковую модель (LLM), что спровоцировало волну аналогичных разработок от ведущих технологических компаний. Однако, несмотря на мощь больших моделей, их использование сопряжено с рядом проблем: высокие энергозатраты, риски распространения недостоверной информации и сложности с конфиденциальностью данных.

**Почему малые модели (SLM) становятся приоритетом?**

#### 1. Ограниченные и проверенные данные

- В отличие от LLM, обучающихся на огромных, но не всегда надёжных интернет-данных, SLM работают с узкоспециализированными наборами информации. Это снижает риск генерации токсичного или ложного контента.

- Пример – Meditron от EPFL, модель, обученная исключительно на медицинских данных из PubMed и клинических руководств.

#### 2. Энергоэффективность и доступность

- SLM требуют значительно меньше вы-

числительных ресурсов – некоторые могут работать даже на смартфоне.

- Это делает их идеальными для локального использования, особенно в условиях ограниченного интернет-доступа.

#### 3. Безопасность и конфиденциальность

- SLM функционируют в закрытых системах, что исключает утечку данных, в отличие от облачных LLM вроде ChatGPT.

- Например, при обработке медицинских запросов или корпоративной документации SLM не передают информацию на внешние серверы.

#### 4. Точечная адаптация под задачи

- Технология RAG (Retrieval-Augmented Generation) позволяет дополнять модели актуальными данными без полного переобучения.

- В EPFL уже тестируют SLM для административных процессов, расшифровки лекций и анализа медицинских изображений.

#### Meditron: пример успешного применения SLM

Разработанная EPFL и Йельской школой медицины, эта модель превзошла средние результаты врачей на американских медицинских экзаменах. Её ключевые преимущества:



- **Открытый исходный код** – прозрачность и возможность доработки сообществом.

- **Локализация данных** – включение информации из регионов, традиционно недостаточно представленных в глобальных базах.

- **Постоянное улучшение** – врачи со всего мира тестируют модель в реальных условиях, повышая её точность.

#### Перспективы: персонализированная медицина и не только

Исследователи EPFL и CHUV работают над SLM, способными анализировать ангиограммы для прогнозирования сердечных приступов. В сочетании с данными носимых устройств это может стать основой для персонализированной медицины – при условии надёжной защиты конфиденциальности.

# Миниатюрные вертикальные резьбовые соединители с предельной частотой 110 ГГц для соединения с печатными платами 100 000 раз

Кива Джуринский, Владимир Алексеенков,  
Владимир Стёпушкин

Рассмотрены конструктивные особенности и параметры миниатюрного резьбового соединителя АСР-047 с предельной частотой 110 ГГц, разработанного канадской компанией DUT Electronics Inc. Показано, что вилка и розетка этого соединителя сочленяются без традиционных штыря и цанги, а роль воздушной коаксиальной линии в нём играет радиочастотный кабель 0,047" с волновым сопротивлением 50 Ом. Рассмотрен способ соединения АСР-047 с печатной платой с применением промежуточной прокладки (Interposer) с контактными выступами из упругого органического электропроводящего материала. Приведены результаты измерений КСВН и потерь соединителя после его контактирования с печатной платой 100 000 раз.

## Введение

В 2021–2024 годах в Интернете появился ряд публикаций о создании канадской компанией DUT Electronics Inc. самого короткого в мире коаксиального резьбового соединителя – АСР-047 (вилки АСР-047-Р/А и розетки АСР-047-Ј) с предельной частотой 110 ГГц для установки на печатные платы [1–7]. Соединитель АСР-047 предназначен для работы с полужёст-

ким радиочастотным кабелем 0,047" и, по мнению этой компании, является первым коммерчески доступным коаксиальным соединителем, в котором используется высокочастотное электрическое соединение встык с печатной платой. Такой подход обеспечивает высокую скорость работы и низкие потери. АСР-047 не применяет стандартное соединение «штырь и гнездо» и предназначен для компрес-

сионного соединения с печатной платой без пайки.

Можно было бы пройти мимо этого события, так как ещё в 2014 году был разработан резьбовой соединитель 1 мм с предельной частотой 110 ГГц для поверхностного монтажа на печатные платы [8, 9]. Однако по сравнению с соединителем 1 мм соединитель АСР-047 действительно миниатюрнее в 1,6 раза по высоте: 4,97 и 7,9 мм соответственно (рис. 1) [2, 8]. Остальные геометрические размеры соединителей обоих типов практически одинаковые: резьба на корпусе М4×0,7-6g, стандартное расстояние между осями крепёжных отверстий на фланце – 7,16 мм. Так как миниатюризация является важнейшим направлением развития микроэлектроники СВЧ, это достижение канадской компании следует признать значимым.

Кроме того, в сообщении [2] было отмечено, что соединитель АСР-7 предназначен для соединения с компрессионной посадкой на печатную плату без пайки [2–4]. Однако вряд ли это можно считать достижением компании DUT Electronics Inc. Несколько ранее (в 2016–2018 годах) были созданы так называемые вертикальные радиочастотные соединители многих типов, в том числе и соединитель 1 мм для компрессионной установки на печатные платы без пайки (рис. 2) [9].

Справедливости ради следует заметить, что недостатком всех вертикальных соединителей является зависимость электрического контакта от величины компрессии. Вибрация и удары ослабляют соединение. К тому же каждый раз, когда соединитель отсоединяется или присоединяется, целостность соединения может нарушаться [10].

Привлекли внимание к соединителю АСР-47 компании DUT Electronics Inc. три обстоятельства:

1) отсутствие привычного соединения вилки и розетки: штырь–цанга;

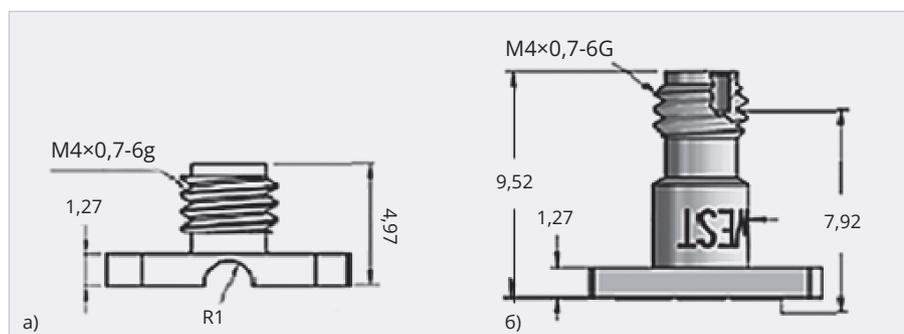


Рис. 1. Соединители розетка с предельной частотой 110 ГГц: АСР-047-Ј (а), 1,0 мм (б)

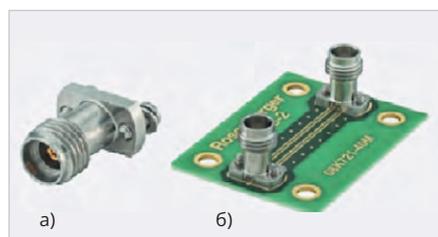


Рис. 2. Вертикальные соединители (а) и тестовая плата (б) компании Rosenberger

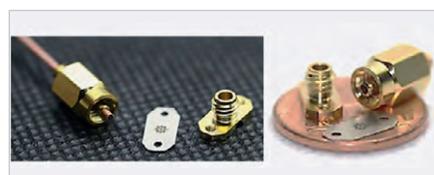


Рис. 3. Внешний вид вилки и розетки соединителя АСР-47. Между ними расположена промежуточная прокладка с центральными выступами – интерпозер (Interposer)

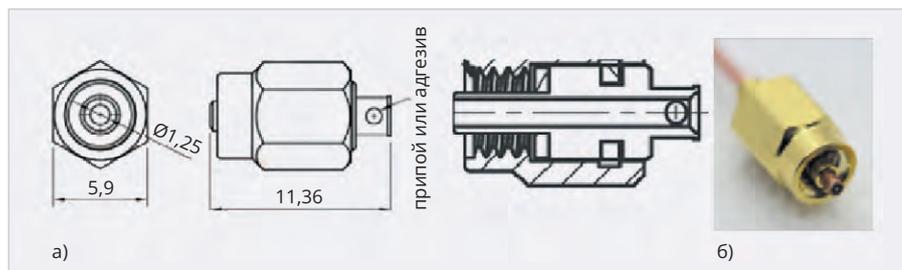


Рис. 4. Конструкция (а) и внешний вид (б) соединителя ACP-047-P/A

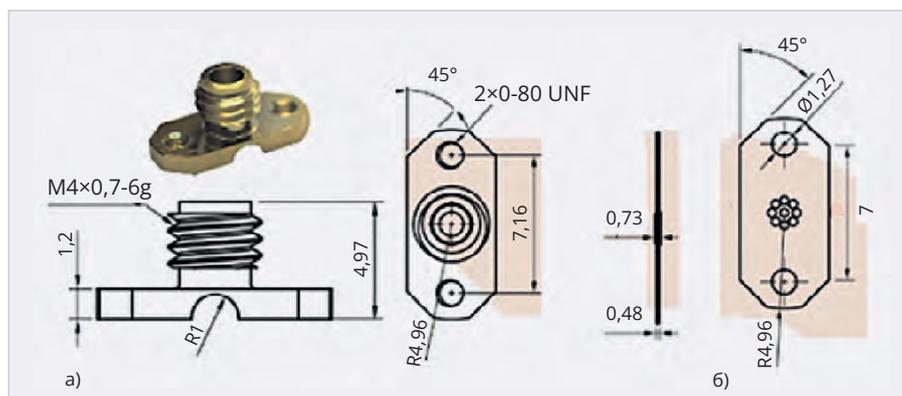


Рис. 5. Конструкция и внешний вид соединителя ACP-047-J (а), конструкция интеропера (б)

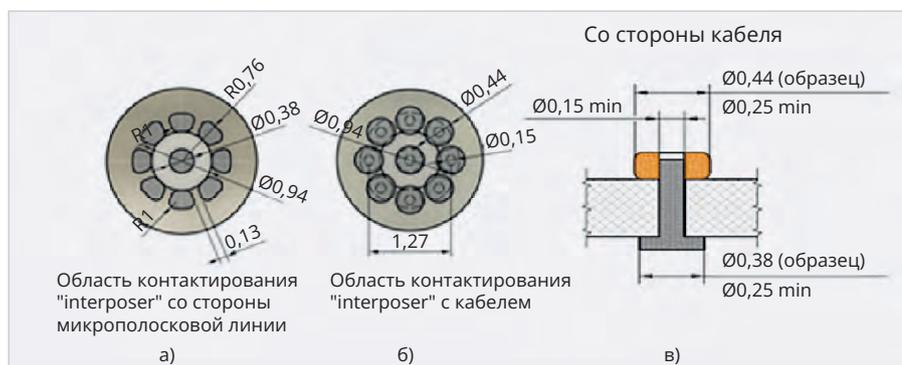


Рис. 6. Интерфейсы интеропера в области контактирования с микрополосковой платой (а) и с кабелем 0,47 (б), масштаб 25:1, предполагаемая форма выступа в разрезе (в)

- 2) более 100 000 циклов соединения и разъединения с печатной платой без ухудшения параметров соединителя;
- 3) низкая стоимость соединителя ACP-047-J – почти в 8 раз дешевле, чем соединителя 1 mm: 35 и 275 долларов США соответственно [3, 9].

### Что известно о конструкции соединителя ACP-047?

Известно не так много. Соединитель ACP-047 состоит из резьбовой кабельной вилки ACP-047-P/A и резьбовой розетки ACP-047-J, резьба M4×0,7-6g, и работает в сочетании только с полужёстким радиочастотным кабелем 0,047". Известно также, что с печатной платой соединение происходит встык.

На рис. 3 показаны внешний вид вилки и розетки соединителя ACP-47 [3, 4].

На рис. 4 показаны габаритный чертёж, элементы конструкции и внешний вид соединителя ACP-047-P/A [3, 4].

Внутри корпуса, изготовленного из латуни и покрытого золотом по подслою никеля, располагается кабель 0,047" в медной оболочке, соединённый с корпусом низкотемпературной пайкой или токопроводящим клеем.

На рис. 5 показаны габаритные чертежи и внешний вид соединителя ACP-047-J [3, 4].

Конструкция соединителя ACP-047-J достаточно проста и типична для резьбовых соединителей типа «розетка». Соединитель изготовлен

из латуни и покрыт золотом по подслою никеля. Интерпозер (Interposer) изготовлен из меди и покрыт никелем. Диаметр и межосевое расстояние крепёжных отверстий в интерпозере близки к размерам фланца соединителя ACP-047-J.

В центре интерпозера расположены выступы чёрного цвета: восемь по кругу и один в центре. Согласно информации, представленной в работах [2, 5]:

- минимальный диаметр выступа: 0,25 мм;
- минимальный шаг выступов: 0,5 мм;
- минимальный диаметр отверстия в центре выступа: 0,15 мм;
- форма выпуклости выступа: произвольная;
- минимальная толщина подложки, на которую устанавливают соединитель ACP-047-J, – 0,1 мм.

Простой расчёт с использованием этих данных показывает, что диаметр описанной вокруг выступов окружности приблизительно равен 1,41 мм, а диаметр вписанной между ними окружности – 1,15 мм. Реально они несколько больше, так как при расчёте окружность была аппроксимирована восьмиугольником.

Но эти данные о размерах выступов расходятся с данными, приведёнными на рис. 6 [11].

На рис. 6в показана предполагаемая форма выступа в области контактирования с кабелем

Сравним эти размеры с размерами полужёсткого (Semi Rigid) радиочастотного кабеля 0,047" с медной наружной оболочкой [12].

- Наружный диаметр кабеля:  $1,194 \pm 0,025$  мм.
- Диаметр центрального проводника:  $0,287 \pm 0,0127$  мм.
- Диаметр фторопластового изолятора кабеля:  $0,949 \pm 0,0127$  мм.

Как видно на рис. 7, медная оболочка кабеля опирается на выступы и занимает их значительную часть. Центральный проводник кабеля диаметром 0,29 мм также опирается на выступ диаметром 0,44 мм из проводящего компаунда, состав которого не приведён.

О соединении с печатной платой сказано только, что по своей функции оно аналогично соединениям, которые применяются для микросхем в корпусах типов LGA и QFN. Поэтому соединитель ACP-047 компания DUT Electronics Inc. называет «интерфейсным соединителем» [1].



Рис. 7. Внешний вид сочленения вилки и розетки соединителя АСР-47 и его торцевое соединение с печатной платой

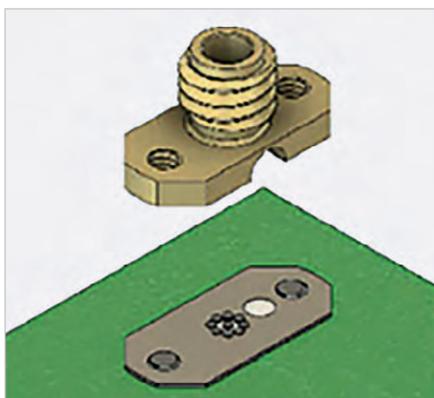


Рис. 8. Установка интерпозера и соединителя АСР-047-*J* на печатную плату. Белым кружком обозначен индикатор правильности положения интерпозера на плате

В результате этого анализа становится понятным рекламируемое огромное количество соединений (сто тысяч) с печатной платой. Это соединение осуществляется за счёт контактирования с упругими выступами из проводящего органического компаунда. Изображение соединения соединителя АСР-047 с печатной платой, приведённое на рис. 7, подтверждает этот вывод.

На рис. 7 показано также, что в соединителе АСР-047 отсутствуют привычные воздушная коаксиальная линия, а также цанговый внутренний проводник розетки и штыревой проводник вилки. Всё это заменяет кабель 0,047", предельная частота которого равна 109 ГГц [12].

В работах [2, 5, 6] приведена инструкция по установке интерпозера на печатную плату. Крепёжные отверстия Ø1,27 мм в интерпозере предназначены для ввинчивания винтов с резьбой 0-80 UNF (эквивалентной метрической резьбе М1,6), что меньше диаметра резьбы винтов. Поэтому винты нарезают резьбу в меди непо-

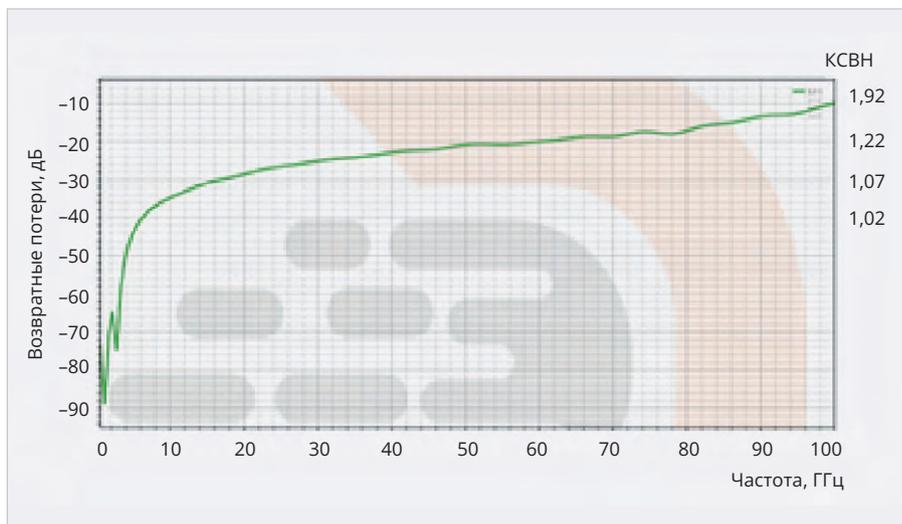


Рис. 9. Зависимость возвратных потерь (КСВН) от частоты

средственно при вкручивании. Это обеспечивает строгое позиционирование промежуточной прокладки относительно корпуса соединителя и кабеля. Интерпозер необходимо поместить на обратную сторону печатной платы, соблюдая правильную ориентацию его поверхностей, и совместить его крепёжные отверстия и отверстия в печатной плате. Затем вернуть винты с нижней стороны печатной платы в интерпозер. После этого нужно установить на плату соединитель АСР-047-*J*, вернуть винты во фланец соединителя и затянуть их (рис. 8). Судя по описанию и иллюстрациям, винты вкручивают лишь заподлицо с наружной стороной интерпозера, т.е. только «наживляют». Если их сразу вкрутить полностью, во-первых, не удастся проверить точность позиционирования корпуса перед прикручиванием, а во-вторых, при прикручивании корпуса резьба интерпозера будет сорвана, и винты расфрезеруют отверстия. В результате этого точность позиционирования корпуса и прокладки уменьшится, а сам интер-

позер может быть деформирован и повреждён.

### Электрические параметры соединителя АСР-047 (вилки и розетки)

Соединитель АСР-047-*J* (розетка), предназначенный для компрессионной установки без пайки на печатную плату с применением полужёсткого кабеля 0,047", имеет следующие параметры [2, 3, 6]:

- максимальная рабочая частота 110 ГГц;
- количество циклов соединение – разъединение более 100 000 (только для интерпозера);
- сопротивление контакта 4,8 мОм;
- максимальная величина постоянного тока 10,84 А;
- диапазон рабочих температур -20...+160°C;
- габаритные размеры фланца Ø9,91 мм × 4,97 мм.

Измерения электрических параметров соединителей АСР-047, установленных на печатную плату, были выполнены американской компанией Gate Wave

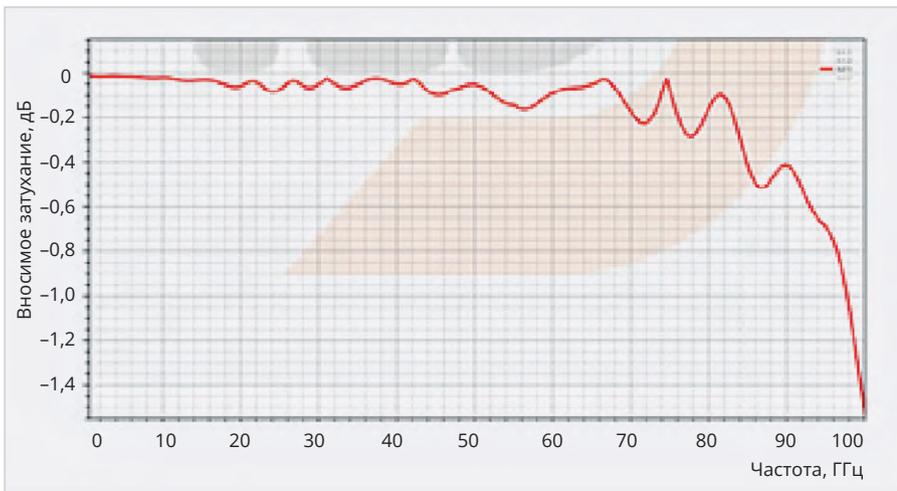


Рис. 10. Зависимость вносимых потерь от частоты

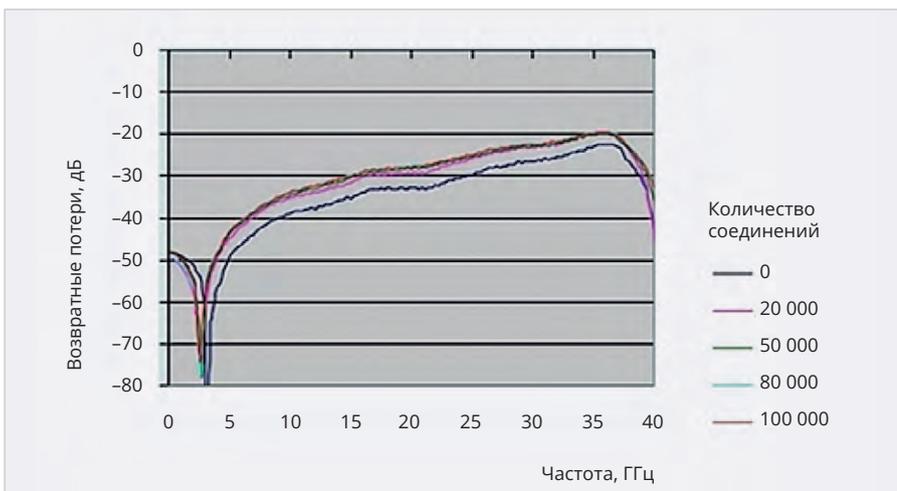


Рис. 11. Возвратные потери соединителя АСР-047 в зависимости от частоты и количества соединений

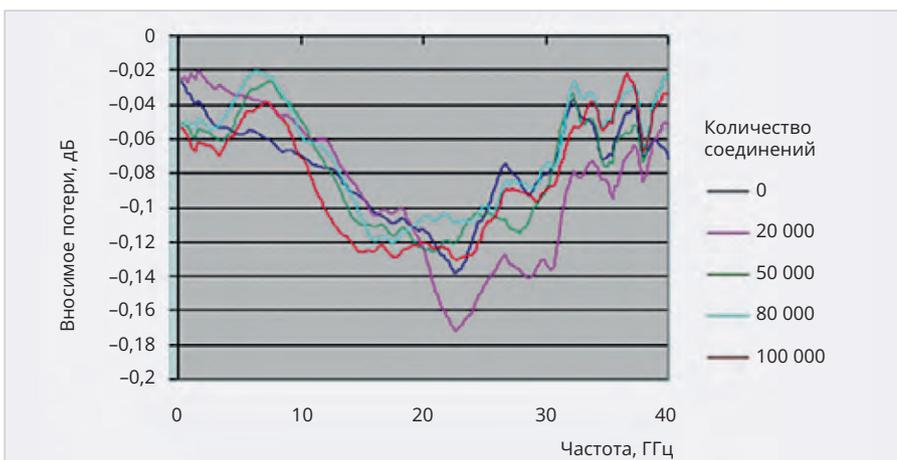


Рис. 12. Вносимые потери соединителя АСР-047 в зависимости от частоты и количества соединений

Northern Inc. в 2021 году [2, 4]. К сожалению, методика измерений в этой работе не приведена. Известно только, что измерения были выполнены с использованием способа «Back-to-Back».

Результаты измерений КСВН (возвратных потерь) и вносимых потерь

соединителя АСР-047] в зависимости от частоты (в диапазоне частот 0–100 ГГц) приведены на рис. 9 и 10.

Обобщённые значения КСВН и вносимых потерь приведены в таблице.

Для сравнения заметим, что соединитель 1 мм имеет КСВН не более 1,35

в диапазоне частот от 70 до 105 ГГц и не более 1,6 на частоте 110 ГГц [9].

Кабельный соединитель АСР-047-Р/А (вилка) предназначен для применения с полужёстким кабелем 0,047" и имеет следующие параметры: предельная частота 110 ГГц, габаритные размеры 5,9×11,4 мм, вес 1,5 г. Как и следовало ожидать, гарантированное количество соединений и разъединений с розеткой – более 500, что типично для большинства резьбовых соединителей «вилка» [6]. Соединитель изготовлен из латуни с покрытием ENIG – иммерсионное золочение по подстою никеля, известное также как «мягкое золото» или Ni/Au. В корпусе соединителя предусмотрено отверстие для крепления в нём кабеля 0,047" пайкой или склеиванием проводящим клеем.

### Электрические параметры соединения АСР-47 с печатной платой после 100 000 соединений

Измерения возвратных и вносимых потерь были выполнены компанией Gate Wave Northern Inc. в диапазоне частот 0–40,05 ГГц в зависимости от частоты и количества соединений и разъединений (от 0 до 100 000) с использованием векторного анализатора Agilent HP8722C VNA [2, 5, 12].

На рис. 11 приведены зависимости возвратных потерь соединителя АСР-047 от частоты после разных количеств соединений (от 0 до 100 000). Эти данные показывают, что после 100 000 соединений возвратные потери не превышают –20 дБ или КСВН не превышает 1,22.

Зависимость КСВН от частоты для разного количества соединений имеет спонтанный характер, что говорит о неопределённости точек контактирования при соединении.

На рис. 12 приведены зависимости вносимых потерь соединителя АСР-047 от частоты после разных количеств соединений (от 0 до 100 000). Максимальная величина потерь при увеличении количества соединений до 100 000 возрастает незначительно: с –0,17 дБ до –0,14 дБ. При этом зависимость величины вносимых потерь от количества соединений имеет непредсказуемый характер. По-видимому, на точности измерений сказывались некоторая неплоскость выступов и различие в усилиях сжатия.

В целом, изменения электрических характеристик после проведения тако-

го большого количества соединений можно считать незначительными.

Компания Gate Wave Northern Inc. представила также фотографии внешнего вида выступов на интерпозере после 100 000 соединений (рис. 13) [12]. До проведения испытаний выступы интерпозера были, по-видимому, покрыты золотом по подслою никеля. После 100 000 соединений практически не было металлических частиц вокруг центрального проводника.

### Применение соединителя АСР-047

По данным работы [13], соединители АСР применяют в автомобилестроении для подключения электрических компонентов и систем, а также в аэрокосмических системах, в системах авионики и навигации, связи, радаров, в военной технике. Эти соединители иногда используют и в телекоммуникационной инфраструктуре, включая волоконно-оптические сети, центры обработки данных и телекоммуникационное оборудование.

### Заключение

Несколько слов о компании DUT Electronics Inc. DUT Electronics Inc. – канадская компания, разработчик высокочастотных долговечных радиочастотных кабелей. Основанная в 2018 году, она специализируется на уникальных соединительных решениях для тестирования изделий электроники и аэрокосмической промышленности.

Соединитель АСР-047, разработанный этой компанией, имеет ряд несомненных преимуществ по сравнению со стандартными соединителями 1 мм:

- миниатюрность и малый вес;
- отсутствие стандартного соединения центральных проводников вилки и розетки: соединение «штырь–цанга», поэтому никаких случайностей, никаких плохих или неполных контактов, никаких фатальных уходов геометрии и саморазрушений;
- простота и технологичность конструкции;
- компрессионный контакт с печатной платой, многократное соединение без пайки;
- корпуса вилки и розетки могут быть изготовлены из широкого спектра материалов, включая полимеры, если потребуется уменьшение веса изделия;

- низкая стоимость соединителя.

Компания DUT Electronics Inc. настойчиво сообщает о достигнутых 100 тысячах соединений с печатной платой. Возможно, для того, чтобы подчеркнуть исключительно высокую надёжность способа электрической коммутации через переходник (Interposer) конструкции соединителя АСР-047. Но при этом хотелось бы иметь данные о величине вылета кабеля при его установке в соединитель АСР-047-Р/А (вилка), о допусках и о качестве среза кабеля (каковы допустимые неперпендикулярность оси и шероховатость среза). Поэтому неясно, за счёт в основном чего добились 100 000 соединений: за счёт супергибких контактных выступов или за счёт строго подгоняемых размеров сопрягаемых поверхностей?

Сто тысяч соединений можно распечатать и как рекламный ход. Ведь речь идёт о соединениях кабеля 0,047" с печатной платой, а соединение вилки и розетки – всего лишь более 500 раз. Да и кому нужно соединять соединители с предельной частотой 110 ГГц сто тысяч раз?

Кроме того, компания DUT Electronics Inc. среди достоинств соединителя АСР-047 упоминает его лёгкую замену в полевых условиях. Но непонятно, насколько сохраняется надёжность при замене одного лишь кабеля? Надо ли обязательно менять весь соединитель?

Ну и, наконец, для изготовления выступов интерпозера необходимы специальный компаунд с высокой упругостью и износостойкостью и непростая технология его установки в интерпозер.

Однако в целом разработка соединителя АСР-047 – несомненно оригинальное, новаторское достижение, которое открывает дорогу для создания многих типов соединителей аналогичной конструкции.

### Литература

1. DUT Electronics Introduces First Commercial ACP Connector Design that Operates at Frequencies Over 100 GHz. December 18, 2024. URL: [www.everythingrf.com](http://www.everythingrf.com).
2. Connectors | DUT Electronics Inc. URL: <https://www.dutelectronics.com>.
3. DUT Electronics | Depu Electronics. URL: <https://www.depu.net>.

Таблица. Максимальные значения КСВН и вносимых потерь соединителя АСР-047

| Диапазон частот, ГГц | КСВН макс. | СВЧ потери, дБ, макс. |
|----------------------|------------|-----------------------|
| 0–18                 | 1,05       | 0,052                 |
| 18–27                | 1,10       | 0,082                 |
| 27–40                | 1,11       | 0,087                 |
| 40–50                | 1,19       | 0,098                 |
| 50–67                | 1,26       | 0,161                 |
| 67–85                | 1,41       | 0,408                 |
| 85–99                | 1,83       | 0,946                 |

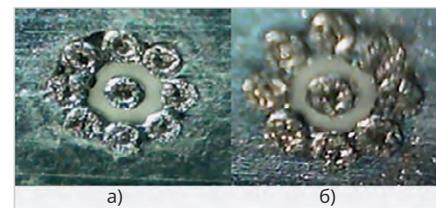


Рис. 13. Внешний вид интерпозера до и после 100 000 соединений

4. Coaxial DUT Electronics. Eclectic Components. URL: <https://www.eclecticcomponents.com>.
5. Data | My Site. DUT Electronics Inc. URL: <https://www.dutelectronics.com>. 40 GHz stripline test board characterization.
6. ACP-047-P/A Coaxial Connector (RF) Assemblies Electronic components. URL: <https://everbell.com>.
7. Coaxial Connector (RF) Assemblies ACP-047-P/A DUT Electronics. URL: <https://www.ichunter.com>.
8. Southwest Microwave, 24359-001J, 1.0 mm Vertical Launch Vertical Launch Connector 1.0 mm Female 2-Hole .390 Long, DC to 110 GHz. URL: <https://www.hasco-inc.com>.
9. Джуринский К.Б. Зарубежные вертикальные радиочастотные соединители для установки на печатные платы без пайки // Электроника. Наука | Технология | Бизнес. 2025. № 1 (00242), стр. 106–114
10. GateWave Northern. Test Results DUT Electronics PCB/interposer. 11/23/22.
11. 47" Semi Rigid Cable. URL: <https://www.tt-telecom.ru>.
12. DUT Electronics 047 Coax Interconnect Cycling Test Results. 11.24.2021. Gate Wave Northern.
13. You can now access DUT components through us, as a part of our partnership scheme. Eclectic Components. 21 февр. 2024 г. URL: <https://www.eclecticcomponents.com>.

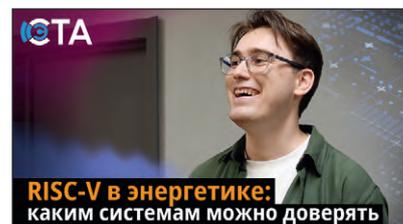




Интервью с Иваном Покровским,  
исполнительным директором АРПЭ,  
исполнительным директором АСПЭК,  
генеральным директором Совэл



Интервью с Владимиром Карантаевым,  
экспертом в кибербезопасности  
индустриальных систем, к.т.н., МВА



Интервью с Кириллом Латышовым,  
заведующим лабораторией РБПО  
в Центре НТИ МЭИ



Интервью с Сергеем Огневим,  
директором ООО «СДТ»,  
представляющим ГК «Прогресс Урал  
Инжиниринг»



Третья часть интервью с Евгением  
Липкиным, генеральным директором  
Остек-СМТ и Остек-Умные технологии



Интервью с Сергеем Рыбкиным,  
начальником отдела управления  
проектами, EREMEX

## СМОТРИТЕ НА КАНАЛЕ СЭТА



## СЛУШАЙТЕ В ПОДКАСТЕ СЭТА





# Медиапортал СЭТА

Современная Электроника и Технологии Автоматизации

ТОВАРИЩ!  
БИЗНЕС РОСТ ЗАМЕДЛИЛ?

**РАНО ВПАДАТЬ В СТУПОР!**

**НУЖНО КРИЧАТЬ О СЕБЕ НЕМЕДЛЯ,**

**А МЫ**

**ОБЕСПЕЧИМ РУПОР!**



### Журналы

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



### Видеоканалы

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



### Медиапортал

Это ваши новости и статьи, оперативно доставленные по адресу



### Конференции

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



### Дизайн-студия

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



СОВРЕМЕННАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА

Издательство «СТА-ПРЕСС» +7 (968) 567-30-06 / shop@cta.ru / www.cta.ru

**Приглашаем вас к сотрудничеству!**