



ЦЕНТР  
ТЕХНОЛОГИЙ  
КОМПОНЕНТОВ  
РОБОТОТЕХНИКИ  
И МЕХАТРОНИКИ

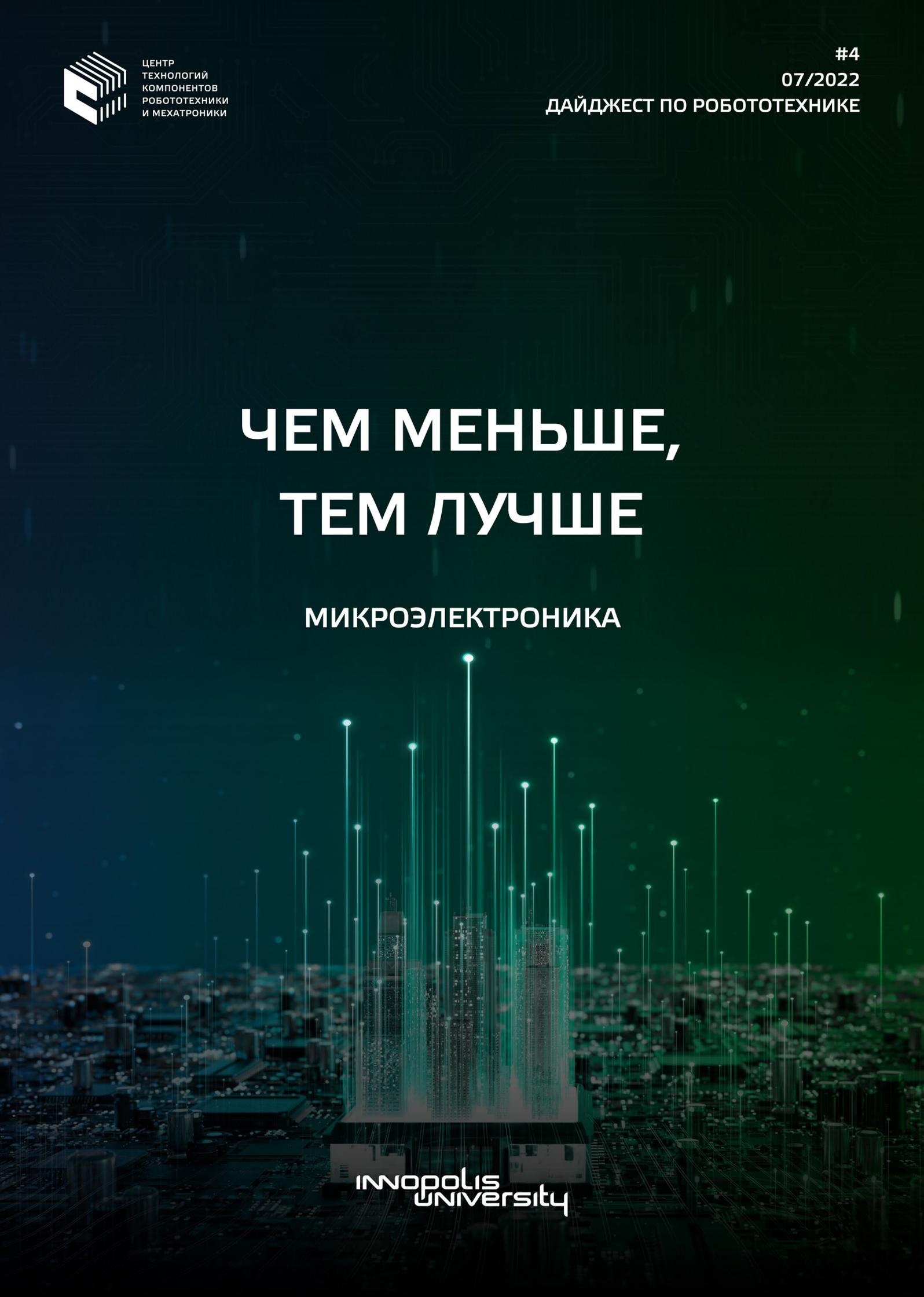
#4

07/2022

ДАЙДЖЕСТ ПО РОБОТОТЕХНИКЕ

# ЧЕМ МЕНЬШЕ, ТЕМ ЛУЧШЕ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА



INOPOLIS  
UNIVERSITY

ЧЕМ МЕНЬШЕ,  
ТЕМ ЛУЧШЕ





ЦЕНТР  
ТЕХНОЛОГИЙ  
КОМПОНЕНТОВ  
РОБОТОТЕХНИКИ  
И МЕХАТРОНИКИ

INNOVATION  
UNIVERSITY

# ЧЕМ МЕНЬШЕ, ТЕМ ЛУЧШЕ

Дайджест по робототехнике

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНОЛОГИИ

---

История микроэлектроники	12
Простая микроэлектроника	34
На грани фантастики: какие датчики использовали бы роботы из кинематографа в реальной жизни	42
Материалы в микроэлектронике	54

## ИНТЕРВЬЮ

---

Иван Покровский АРПЭ	28
Юрий Панчул	46
Алексей Переверзев МИЭТ	62
Рафаэль Ильясов Университет Иннополис	82

## РЫНОК

---

0 центре робототехники	8
Рынок микроэлектроники	18
Мировые лидеры в области микроэлектронных компонентов	24
Кризис полупроводников	58
Стратегия развития микроэлектроники	71
Патентный обзор: микроэлектроника в промышленной робототехнике	76
Календарь выставок 2022-2023	102

## НАУКА

---

Национальная технологическая олимпиада	90
Российские вузы	92
Календарь конференций 2022-2023	101



Кирилл Семенихин  
Директор Университета Иннополис

**Уважаемые читатели! Вашему вниманию представлен очередной номер дайджеста о робототехнике, выпускаемого Центром компетенций НТИ при Университете Иннополис. Этот номер посвящен микроэлектронике. Мы постарались максимально подробно рассказать об этой отрасли, выделить существующие проблемы, оценить перспективы.**

Сегодня развитие микроэлектронной промышленности актуально как никогда. Микросхемы используются повсеместно: в часах, холодильниках, стиральных машинах и так далее. В современных условиях без этих приборов мы оказываемся как без рук. Именно поэтому, в ответ на запросы рынка, а также в условиях стремления к импортозамещению, в 2021 году в Центре технологий компонентов робототехники и мехатроники при Университете Иннополис был создан Дизайн-центр электроники и микроэлектроники. Создание этого и подобных ему центров позволит разрабатывать новые технологии и промышленные решения, в том числе в области робототехники, на российской компонентной базе.

Специалисты Дизайн-центра электроники и микроэлектроники Университета Иннополис занимаются разработкой электронных устройств и микроэлектронных компонентов, реверс-инжинирингом, проектированием и разработкой микроэлектронной составляющей робототехнических комплексов, а также нестандартных механизмов и узлов роботизированных систем, мехатронных модулей, стендового оборудования и оснастки, проведением различных инженерных расчетов, решением прочих задач в рамках своих компетенций.

Долгие годы российский рынок микроэлектроники зависел от зарубежных компаний. Сегодня эта ситуация начинает постепенно меняться, в том числе благодаря стимулирующим мерам государственной поддержки. Несмотря на то, что любая современная отрасль немыслима без международного взаимодействия, стремление к технологическому суверенитету актуально для каждой развитой страны, ведущей самостоятельную политику. Поэтому так важна подготовка специалистов высокого класса и создание комфортных условий для их работы. Одной из ключевых миссий Университета Иннополис является подготовка таких специалистов в ИТ-отрасли. Помимо этого, наш университет притягивает к себе лучшие умы со всей страны, что позволяет нам формировать высокопрофессиональные проектные команды в этой и смежных отраслях.

**Надеюсь, что этот дайджест приоткроет перед вами большие пространства микроэлектроники и будет полезен в вашей профессиональной деятельности.**



Александр Тормасов  
Ректор Университета Иннополис

**Приветствую Вас на страницах нового дайджеста о робототехнике — научно-популярного издания Университета Иннополис.**

Это уже четвертое издание, которое завершили эксперты Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии компонентов робототехники и мехатроники». Цель подобной работы — популяризация знаний о робототехнике, сбор полезной информации для коллег, партнеров и просто заинтересованных в цифровых технологиях читателей. На этот раз темой дайджеста стала смежная отрасль — микроэлектроника и ее роль в России и мире.

Микроэлектроника — тот фундамент, который является основой всех современных технологий. Крохотные, порой даже невидимые глазу компоненты делают возможным работу буквально любого устройства вокруг нас. Складываясь в микросхемы, они помогают запускать в космос корабли, управлять беспилотными автомобилями, производить товары на роботизированных производствах, разогревать еду в микроволновке или передавать сигналы связи за тысячи километров. То, как развивалась и продолжает развиваться эта отрасль — история длиной в несколько десятилетий, в ходе которой произошло много важных событий, во многом определивших облик современных технологий. Наши эксперты собрали под этой обложкой только самую ценную, важную и интересную информацию, чтобы вы могли открыть для себя удивительный мир микроэлектроники.

Этот номер поможет вам узнать, какие элементы и компоненты используются в микроэлектронных изделиях, какие материалы лучше использовать в зависимости от внешних условий и условий использования, а также ознакомиться с мнениями представителей высших учебных заведений и ассоциации российских разработчиков и производителей электроники по различным вопросам, получить представления о множестве неочевидных тонкостей, современных трендах, предполагаемых направлениях развития.

Вы также узнаете, какие изобретения стали ключевыми в развитии отрасли, как осуществлялся переход от вакуумных электронных ламп к транзисторам, а затем к их миниатюризации, и каким образом закон Мура способствовал этому. Обсуждение истории радиоэлектроники в СССР и России позволит понять, какие были сделаны ошибки в принятых решениях, и как избежать их в текущих условиях, а из интервью с приглашенными экспертами вы узнаете, каким они видят будущее микроэлектронной отрасли.

**Желаю Вам приятного и полезного чтения!**

# Центр компетенций Национальной технологической инициативы по направлению

## Технологии компонентов робототехники и мехатроники

Центр компетенций создан на базе Университета Иннополис в 2018 году с целью развития сквозных технологий компонентов робототехники и мехатроники.

Это единая площадка взаимодействия науки и бизнеса для развития технологий и создания новых наукоемких продуктов.

### Направления работы

Деятельность Центра направлена на проведение научных исследований, разработку образовательных программ по приоритетным направлениям робототехники и реализацию промышленных проектов совместно с технологическим консорциумом.

Проведение научных исследований в рамках приоритетных субтехнологий, выделенных в рамках дорожной карты развития сквозной цифровой технологии «Компоненты робототехники и сенсорики» до 2024 года:

- Сенсоры и цифровые компоненты РТК для человеко-машинного взаимодействия
- Технологии сенсорно-моторной координации и пространственного позиционирования
- Сенсоры и обработка сенсорной информации

Разработка образовательных программ по приоритетным направлениям робототехники на базе университета:

- Бакалавриат
- Магистратура
- Аспирантура
- Довузовская подготовка
- Программы дополнительного образования
- Проектные школы и программы корпоративного обучения

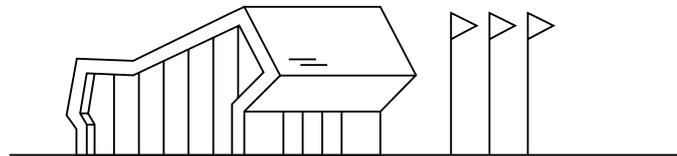
На базе Центра осуществляется разработка технологических решений и создание новых продуктов для реализации промышленных проектов. Исследования и разработки осуществляются в трёх лабораториях:

- Лаборатория робототехники
- Лаборатория беспилотных технологий
- Лаборатория нейронауки и когнитивных технологий

В 2021 году был создан **Дизайн-центр электроники и микроэлектроники**.

Специалисты центра занимаются разработкой электронных устройств и электронной компонентной базы микроэлектроники. Главной целью создания дизайн-центра стала разработка технологических решений на отечественной компонентной базе для решения промышленных задач специалистами Университета Иннополис, в том числе в области робототехники.

INNOPOLIS  
UNIVERSITY



БОЛЕЕ **100** СОТРУДНИКОВ

БОЛЕЕ **40** ПРОЕКТОВ

БОЛЕЕ **200** ЕДИНИЦ  
ОБОРУДОВАНИЯ

БОЛЕЕ **250** ПУБЛИКАЦИЙ

БОЛЕЕ **150** ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ  
РЕЗУЛЬТАТОВ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

# ЛАБОРАТОРИИ

## Лаборатория робототехники

В лаборатории робототехники разрабатывают решения для задач автоматизации в отраслях:

- Автомобилестроения
- Электроники
- Металлургии
- Пищевого производства
- Нефтехимии
- Фармацевтики

### **Направления деятельности**

- Метрология и калибровка
- Манипуляция и планирование движений коллаборативная робототехника
- Разработка роботизированных ячеек и их компонентов
- Системы управления
- Исполнительные механизмы
- Моделирование и проектирование сложных робототехнических систем
- Манипуляция и телеуправление
- Мехатроника, сенсорика и осязание
- Аддитивные технологии
- Мобильная робототехника
- Сервисная робототехника
- Шагающие роботы

### **Области научных исследований и разработок**

- Математическое моделирование
- Разработка и применение новых компонентов мехатроники
- Разработка алгоритмов и программного обеспечения
- Разработка концепций и прототипов под задачи автоматизации
- Производственных процессов

## Лаборатория беспилотных технологий

Сотрудники лаборатории занимаются научными разработками и коммерческой деятельностью в области мобильной робототехники, используя технологии детекции и распознавания окружающей среды, локализации в пространстве, планирования маршрутов, а также ведут разработку систем управления и безопасности.

### **Направления деятельности**

- Воздушная робототехника (инфраструктура, ПО для БПЛА, системы управления)
- Наземная робототехника (автомобили, строительно-дорожная, складская техника)
- Водная робототехника (мобильный надводно-подводный робототехнический комплекс)

### **Области научных исследований и разработок**

- Система автономного мониторинга территорий с помощью БПЛА
- БПЛА вертикального взлета и посадки для воздушных грузоперевозок и мониторинга на дальних дистанциях
- Сканирование и мониторинг сельскохозяйственных угодий с БПЛА
- Система автоматического контроля практического экзамена на получение водительского удостоверения
- Системы помощи водителю (ADAS системы)
- Беспилотные грузовой и легковой транспорты
- Платформа организации работы коммерческих транспортно-технологических комплексов на базе беспилотных технологий
- Роботизированная складская техника (AGV)
- Автономный робот-уборщик
- Мобильный надводно-подводный робототехнический комплекс для проведения технической диагностики трубопроводов

## Дизайн-центр электроники и микроэлектроники

Дизайн-центр электроники и микроэлектроники создан в целях прорывного роста электронной промышленности России. Специалисты центра занимаются разработкой электронных устройств и электронных компонентов микроэлектроники, а также проектированием нестандартных механизмов и узлов.

### **Направления деятельности**

- Услуги по разработке электронных устройств и микроэлектронных компонентов
- Разработка отечественной компонентной базы для решения задач Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники
- Разработка программного обеспечения встроенных систем
- Повышение квалификации разработчиков микроэлектронных компонентов до мирового уровня

### **Области научных исследований и разработок**

- Микроархитектура
- Разработка электронных устройств
- Прототипирование электронных устройств
- Реверс-инжиниринг и импортозамещение

## Лаборатория нейронауки и когнитивных технологий

Лаборатория нейронауки и когнитивных технологий проводит междисциплинарные научные исследования и экспериментальные работы для разработки человека-машинных интерфейсов, применяемых в обучении детей, реабилитации и на промышленном производстве.

### **Направления деятельности**

- Изучение особенностей функционирования нейронной сети головного мозга в процессе обработки сенсорной информации и решения когнитивных задач с использованием неинвазивных методов регистрации нейронной активности
- Исследование и моделирование динамики нейронных ансамблей с использованием методов частотно-временного анализа, теории сложных сетей и машинного обучения
- Исследование биомеханики человека с использованием сигналов мышечной и нейронной активности для управления антропоморфными роботами и элементами экзоскелетов

### **Области научных исследований и разработок**

- Процессы, протекающие в головном мозге человека во время восприятия, обработки и усвоения информации, принятия решений, а также моторной деятельности
- Новые математические методы обработки и анализа многоканальных нейрофизиологических данных различной природы, динамики нейронных ансамблей с использованием моделей различного уровня детализации активности биологических нейронов

# КОНСОРЦИУМ

**Консорциум** — это деловая экосистема для обмена и сотрудничества на базе Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники. Совместно с участниками технологического консорциума разрабатываются новые образовательные программы и реализуются инновационные проекты для бизнеса и государства. Объединение ведущих российских и зарубежных ВУЗов, научных институтов и промышленных партнеров способствует совместному решению сложных технологических задач.

**Основная цель консорциума** — создание динамичной инфраструктуры для проведения, апробаций и внедрения ключевых научных исследований, образовательных модулей и коммерческих работ по тематике «Робототехника и мехатроника» мирового уровня.

## \* ЗАДАЧИ

- Создание инфраструктуры для прорывных разработок и исследований в робототехнике
- Создание образовательных программ и подготовка высококвалифицированных кадров
- Создание новых наукоемких продуктов и услуг в робототехнике в интересах партнеров

## НАПРАВЛЕНИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЦЕНТРА С ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ ПАРТНЕРАМИ

<u>Компании и организации</u>	<u>Федеральные и региональные органы власти</u>
[ 1 ] Разработка робототехнических решений, поставка программного и аппаратного обеспечения	Разработка и реализация отраслевых и межотраслевых программ [ 1 ]
[ 2 ] Решение актуальных задач в области робототехники и мехатроники	Разработка и внедрение отраслевых стандартов и правил [ 2 ]
[ 3 ] Повышение квалификации сотрудников	
<u>Финансово-инвестиционные компании</u>	<u>Бизнес-сообщества</u>
[ 1 ] Разработка мер стимулирования инвестиционной активности	Разработка решений по снятию барьеров для каждого направления в области технологий компонентов робототехники и мехатроники [ 1 ]
[ 2 ] Экспертная и регулятивная деятельность	Повышение квалификации и компетенций участников [ 2 ]
	Технологическая акселерация проектов [ 3 ]
<u>Исследовательские и научные организации</u>	<u>Институты развития и фонды</u>
Совместная реализация фундаментальных и прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в области робототехники и мехатроники	Формирование и/или участие в отдельных программах [ 1 ]
<u>Стартапы</u>	Экспертная деятельность [ 2 ]
Оказание поддержки и участие в создании и развитии бизнесов на партнерских началах	Проведение обучения и консультационная поддержка [ 3 ]

## РОССИЙСКИЕ ВУЗЫ

- Университет Иннополис
- Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
- Дальневосточный федеральный университет (ДФУ)
- Донской государственный технический университет
- Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова (ИжГТУ)
- Московский государственный технологический университет «Станкин» (МГТУ «Станкин»)
- Московский институт электронной техники (МИЭТ)
- Московский физико-технический институт (МФТИ)
- Национальный исследовательский Мордовский государственный университет (МГУ им. Н.П. Огарёва)
- Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ)
- Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики
- Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ им. Р.Е. Алексеева)
- Новгородский государственный университет Им. Ярослава Мудрого
- Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева ФГБОУ ВО «РГАТУ им. П.А. Соловьева»
- Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж.И. Алфёрова Российской академии наук — научно-образовательный центр нанотехнологий РАН (СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова)
- Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО)
- Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)
- Севастопольский государственный университет (СевГУ)
- Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)
- Сибирский государственный медицинский университет ФГБОУ ВО «СибГМУ»
- Сколковский институт науки и технологий (Сколтех)
- Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина (ТГУ им. Г.Р. Державина)
- Томский государственный университет (ТГУ)
- Удмуртский государственный университет (УдГУ)
- Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ)
- Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)
- Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)

## ЗАРУБЕЖНЫЕ ВУЗЫ

- IMT Atlantique
- Ruhr Universitat Bochum
- Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- Shenzhen Institutes of Advanced Technology
- Aalborg University
- Umea University
- Lund University

## АКАДЕМИЧЕСКИЕ ИНСТИТУТЫ

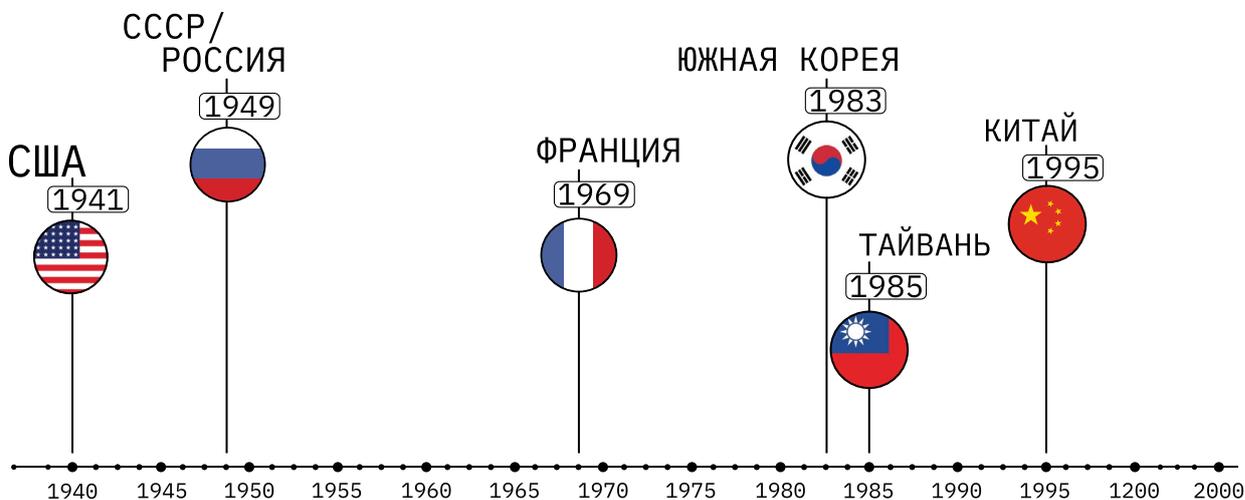
- Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)
- Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (УдмФИЦ УрО РАН)
- Институт машиноведения имени А. А. Благодногова Российской академии наук (ИМАШ РАН)
- Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН)
- Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных и управляющих систем (НИИ МВУС)
- Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН)
- РФЯЦ-ВНИИЭФ

## ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ПАРТНЕРЫ

- ООО «КУКА Раша»
- ООО «ФАНУК»
- ООО «НПО Андроидная техника»
- ООО «НТЦ Аркодим»
- ООО «Эйдос-робототехника»
- ООО «Розум роботикс»
- ООО «Вектор групп»
- ООО «ВР - Мастер»
- ООО «Авиатех»
- ООО «Образовательная Робототехника»
- ООО «Прайд Тек»
- ООО «ВРМ ГРУПП»
- ООО «Территори ВР студио»
- ООО «Артех»
- ООО «МГБот»
- ООО «BFG Group»
- ООО «BFG Robotics»
- ООО «ШУНК Интек»
- ООО «Велдинг Групп Самара»
- ООО УРТЦ «Альфа-Интех»
- ПАО «КАМАЗ»
- ПАО «Сбербанк России»
- ПАО «Ростелеком»
- ПАО «АЭРОФЛОТ»
- АО «Спецхимия»
- АО «НИИАС» (Дочернее общество ОАО «РЖД»)
- АО «Квантум Системс»
- ЗАО «Интеллектуальная механика»
- ОИЦ «Группы ГАЗ»
- МКПАО «ОК Русал»
- ПАО «Татнефть»
- ООО «Роботроника»
- ООО Финко
- ООО Вальтер интеграция
- ООО Аврора роботикс
- ООО Коптер Экспресс Технологии
- ПАО «Газпром нефть»
- НПП «Метра»
- ООО Ронави роботикс
- НПП «ИННО-ТЕХ»
- АО «Синара-Транспортные машины»
- ООО «Русский инженер»
- ООО «Сириус»

# ИСТОРИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

## Начало производства микроэлектроники и компонентов

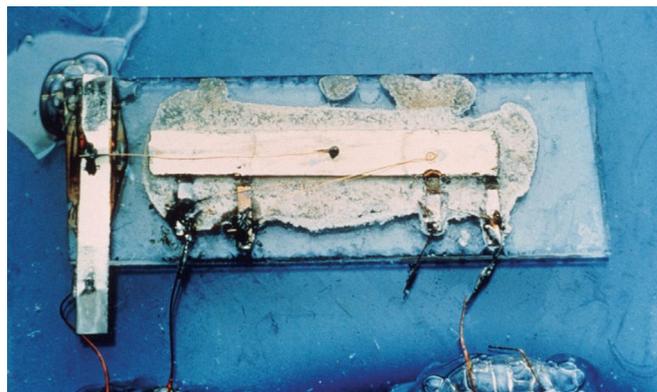


Данные: АНО «Цифровая экономика»

Микроэлектроника как отдельная отрасль электроники появилась сравнительно недавно, в середине XX века, когда производители столкнулись с необходимостью совершенствования своей продукции. Среди задач, которые им предстояло решить, особо выделялись следующие: объединение разнотипных элементов в унифицированные модули, снижение их себестоимости, повышение надёжности, обеспечение массовости выпуска. Именно это и стало предпосылкой к созданию микроэлектронной отрасли.

Одной из ключевых точек отсчета истории микроэлектроники можно назвать 1958 год, когда Джек Килби, сотрудник компании Texas Instruments, изобрел интегральную микросхему.

Размеры первой интегральной микросхемы составляли 1,11 x 0,16 см



В ее основе лежит концепция, впоследствии получившая название Monolithic Idea: «...элементы схемы, такие как резисторы, конденсаторы и транзисторы, могут быть интегрированы в одну микросхему – при условии, что они будут выполнены из одного материала...» Открытие являлось прорывом для своего времени – впоследствии оно принесло ученому Нобелевскую премию по физике. Сама микросхема представляла собой небольшую пластину из германия площадью около 18 мм<sup>2</sup>, на которой впервые в истории электронные компоненты были интегрированы на одной подложке. Сегодня важнейшей частью любого электронного оборудования являются схемы, созданные именно на их основе.

Еще одним ученым, внесшим существенный вклад в разработку нового типа схем, стал американец Роберт Нойс, президент компании Fairchild. В 1959 году ему удалось разработать полностью планарный, то есть плоский, вариант микросхемы, в дальнейшем выпускаемой как ИС Micrologis. Разработка оказалась настолько успешной, что ею заинтересовались Министерство обороны США и НАСА. Вскоре после этого, в начале 1960-х гг., некоторые фирмы в США наладили серийный выпуск микросхем.

Примерно в это же время попытки отечественных ученых также увенчались успехом, и в ведущем транзисторном институте СССР НИИ-35 (ныне НИИ «Пульсар») к 1965 году был готов прототип первой отечественной кремниевой интегральной схемы. Параллельно

с этим, на Рижском заводе полупроводниковых приборов (РЗПП) велась разработка первой отечественной микросхемы для ЭВМ, работа над которой предполагала решение нетривиальной задачи: реализовать на одном кристалле два транзистора и два резистора, исключив их паразитное взаимное влияние. В СССР такого раньше еще никто не делал, а о зарубежных достижениях в этой области инженеры того времени еще не были осведомлены. Несмотря на это, в 1962 году уже были готовы первые опытные образцы германиевой твердой схемы, получившей заводское обозначение Р12-2, а уже к концу года она была запущена в серийное производство. Эти микросхемы быстро нашли практическое применение и выпускались вплоть до развала Советского Союза.

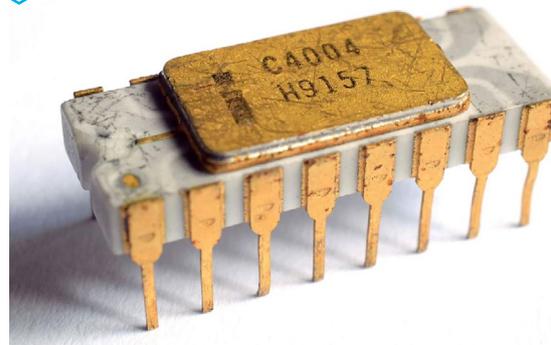
В 1963 году центром советской микроэлектроники стал новый город-спутник Москвы – Зеленоград, где должен был располагаться комплексный центр микроэлектроники «Научный центр». Впоследствии руководство страны намеревалось противопоставить его сформировавшейся немного позднее американской Кремниевой долине, из-за чего город получил одно из своих прозвищ – советская/русская Кремниевая долина. Планировалось, что ядром города станет Центр информатики и электроники, однако, к сожалению, проект остался нереализованным в связи с распадом СССР. Тем не менее, именно здесь по сей день функционирует научно-производственный центр «Электронные вычислительно-информационные системы» (АО НПСЦ

«ЭЛВИС»), который был создан на базе структурного подразделения научно-производственного объединения «ЭЛАС», выполнявшего в 1960-80 гг. передовые разработки в области космической электронной техники. Другим значимым предприятием в городе стал НИИ Молекулярной электроники (НИИМЭ). В 1965 году его директором стал Камиль Валиев — молодой казанский физик-теоретик, и в этом же году при НИИ было запущено производство: завод «Микрон». Вплоть до распада СССР он являлся основным производителем интегральных схем в стране, а на сегодняшний день является крупнейшим производителем и экспортером микроэлектроники в России и технологическим лидером российской полупроводниковой отрасли.

Стремительное развитие микроэлектроники 1960-х гг. не оставляло никого равнодушным. Даже газеты пестрели кричащими заголовками: «радиосхема размером с рисовое зерно», «компьютер меньше банки сардин». В 1965 году был совершен очередной прорыв: появились большие интегральные схемы (БИС), на кристаллах которых располагалось более тысячи элементов и имелась двухуровневая система плеченных соединений. Конечно, такая разработка потребовала новых принципов конструирования: разместить сотни транзисторов на кристалле становилось все сложнее, однако ученые находили новые способы для решения этой проблемы. Производство увеличивалось стремительными темпами.

Тем не менее, вскоре стало понятно, что тысячами сходящие с конвейера микросхемы достаточно узконаправлены: как правило, они могли удовлетворить потребность одного либо максимум нескольких потребителей. Производители столкнулись с необходимостью сделать их более функциональными.

Таким образом, следующим этапом в развитии микроэлектроники стало создание микропроцессора, то есть программно-управляемой микросхемы. Технически он представляет собой устройство, которое отвечает за выполнение операций, записанных в машинном коде. Он может быть реализован в виде одной микросхемы или комплекта из нескольких специализированных микросхем. Первое практическое применение они нашли в калькуляторах, однако позднее их стали встраивать и во многие другие устройства — например, принтеры, терминалы и так далее.



Первый в мире коммерчески доступный однокристалльный микропроцессор Intel 4004 — 4-битный микропроцессор, разработанный корпорацией Intel и выпущенный 15 ноября 1971 года.



Считается, что первые микропроцессоры были созданы в 1971 году — что интересно, одним из их изобретателей является Роберт Нойс, уже упомянутый ранее: именно он создал один из первых образцов интегральной микросхемы в 1959 году, лишь немного уступив Джеку Килби. Однако его профессиональная карьера сложилась вполне успешно: первые созданные микропроцессоры, разработанные под его руководством, были выпущены фирмой, которая в дальнейшем станет одним из ведущих производителей в этой области, и сегодня она по-прежнему сохраняет уверенное лидерство. Речь идет о фирме Intel, которая была основана в 1967 году на основе наработок компании Fairchild. В течение нескольких лет специалисты Intel экспериментировали с различными техническими процессами, подбирая оптимальный, и в итоге остановились на КМОП — комплементарной структуре металл-оксид-полупроводник. Ее преимуществами являются достаточно малое энергопотребление в статическом режиме, а также большее быстродействие, чем в других вариантах. Эта структура остается актуальна и по сей день: именно она используется в подавляющем большинстве современных цифровых схем.

В это время в Советском Союзе также велась интенсивная работа в этой области, хотя и с некоторым отставанием, вследствие чего советским инженерам приходилось основываться на уже имеющихся разработках западных коллег: в середине 1960-х гг. начались работы по воспроизведению стандартной американской серии логических схем — так, в 1969 году в дальнейшем был запущен выпуск схемы «Логика-2». Незадолго до этого также началось производство монолитных микросхем для особо ответственной аппаратуры ракетно-космических комплексов на Воронежском заводе полупроводниковых приборов, где ориентировались на технологию фирмы Motorola. Это направление получило в дальнейшем важное, хотя и ограниченное развитие.

Среди других важных достижений советской микроэлектроники можно отметить «Гнома» — авиационную бортовую цифровую вычислительную машину, созданную с использованием советских микросхем. Она была разработана для пилотажно-навигационного прицельного комплекса «Купол» военно-транспортных самолётов. Это одна из первых БЦВМ авиационного назначения в СССР. Она имеет ряд совершенно уникальных конструктивных и схемотехнических решений, не используемых в устройствах подобного рода — например, для решения проблемы ограниченного температурного режима германиевых элементов была разработана новая система отвода тепла по теплостокам с фреоном.

Таким образом, можно отметить, что уже к 1970-м гг. XX века микроэлектроника стала отдельной областью науки, которая развивалась бурно и стремительно. Микроэлектронные компоненты постоянно совершенствовались невероятными темпами. Этот бум может быть описан с помощью закона Мура: количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждый год (в изначальном варианте), однако впоследствии Гордон Мур внёс в свой закон коррективы, согласно которым удвоение числа транзисторов будет происходить каждые два года. Сейчас, однако, факт действия этого закона вызывает вопросы: возможно, что он перестал действовать некоторое время назад, и к настоящему моменту действительного удвоения уже не происходит, а производители лишь пытаются сохранить видимость этого, прибегая к маркетинговым ухищрениям.

К началу XXI века большинство событий, определивших дальнейшее развитие микроэлектронной отрасли, уже стало историей. Сейчас мы являемся свидетелями совершенствования разработок в этой области — увеличивается количество размещаемых транзисторов, размер полупроводниковых пластин, вводятся в эксплуатацию новые материалы, уменьшается энергопотребление элементов.



Самая маленькая на начало 2022 года однокристалльная микросхема на кончике медицинской иглы

В историческом плане можно отметить **5** этапов развития микроэлектроники.

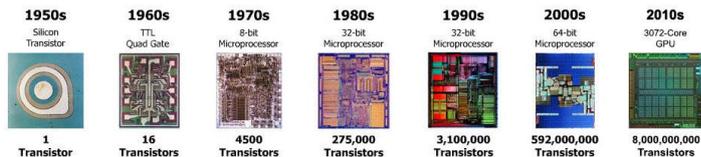
**Первый этап**, относящийся к первой половине 60-х годов, характеризуется степенью интеграции ИС до 100 элементов на кристалл и минимальным размером элементов порядка 10 мкм.

**Второй этап**, относящийся ко второй половине 60-х годов и первой половине 70-х годов, характеризуется степенью интеграции ИС от 100 до 1000 элементов/кристалл и минимальным размером элементов до 2 мкм.

**Третий этап**, начавшийся во второй половине 70-х годов, характеризуется степенью интеграции более 1000 элементов/кристалл и минимальным размером элементов до 1 мкм.

**Четвертый этап**, характеризуется разработкой сверхбольших ИС со степенью интеграции более 10000 элементов/кристалл и размерами элементов 0,1 - 0,2 мкм.

**Пятый**, современный, этап характеризуется широким использованием микропроцессоров и микроЭВМ, разработанных на базе больших и сверхбольших ИС. Это связано со значительным усложнением требований и задач, решаемых электронной аппаратурой, что привело к росту числа элементов в ней. Число элементов постоянно увеличивается, и разрабатываемые сейчас сложные системы содержат десятки миллионов элементов, размеры которых уже уменьшились до 7 нм. В мае 2022 года в свободную продажу поступил первый ноутбук с процессором, изготовленным по пятинанометровым нормам, в разработке находятся чипы на техпроцессе четыре нанометра.



Эволюция микросхем с 1950-х гг. до наших дней: от 1 транзистора до 8 миллиардов транзисторов на одном кристалле

## НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Начало XXI века знаменует логический переход от микроэлектроники к нанозлектронике. В 1999 микроэлектроника преодолела рубеж в 100 нанометров, и стало возможным говорить о возникновении промышленной нанозлектроники. К этому времени стало ясно, что полупроводниковая технология с характерными размерами элементов порядка микрометра фактически «выработала свои ресурсы» и необходим переход к меньшим масштабам. Сам термин «нанозлектроника» отражает переход от микроэлектроники современных полупроводников, где размеры элементов измеряются единицами микрометров, к более мелким элементам – с размерами в десятки нанометров.

Можно отметить, что сейчас развитие микроэлектроники зависит от увеличения количества транзисторов, размещаемых на одной микросхеме, а это, в свою очередь, требует уменьшения размера самих элементов. В настоящее время технология микроэлектроники прошла уже основные стадии своего становления сейчас находится на пике своего развития, поэтому ее дальнейшая судьба в основном зависит только от совершенствования имеющихся технологий. Также следует отметить, что темпы развития микроэлектроники значительно выше, чем у других областей производства – это значит, что потребуются использование иных технологий, новых материалов и их композиций, а также новых технологических процессов и их сочетаний.

Среди текущих тенденций в микроэлектронике как основную можно выделить повышение степени интеграции микросхем. Установка все большего количества транзисторов на интегральной схеме требует увеличения плотности их размещения, однако по причине физических ограничений считается, что ученые практически вплотную подошли к пределу возможностей размещения элементов на кристалле. Эта тенденция влечет за собой ряд вопросов, которые на данный момент наиболее остро стоят перед индустрией: самые очевидные

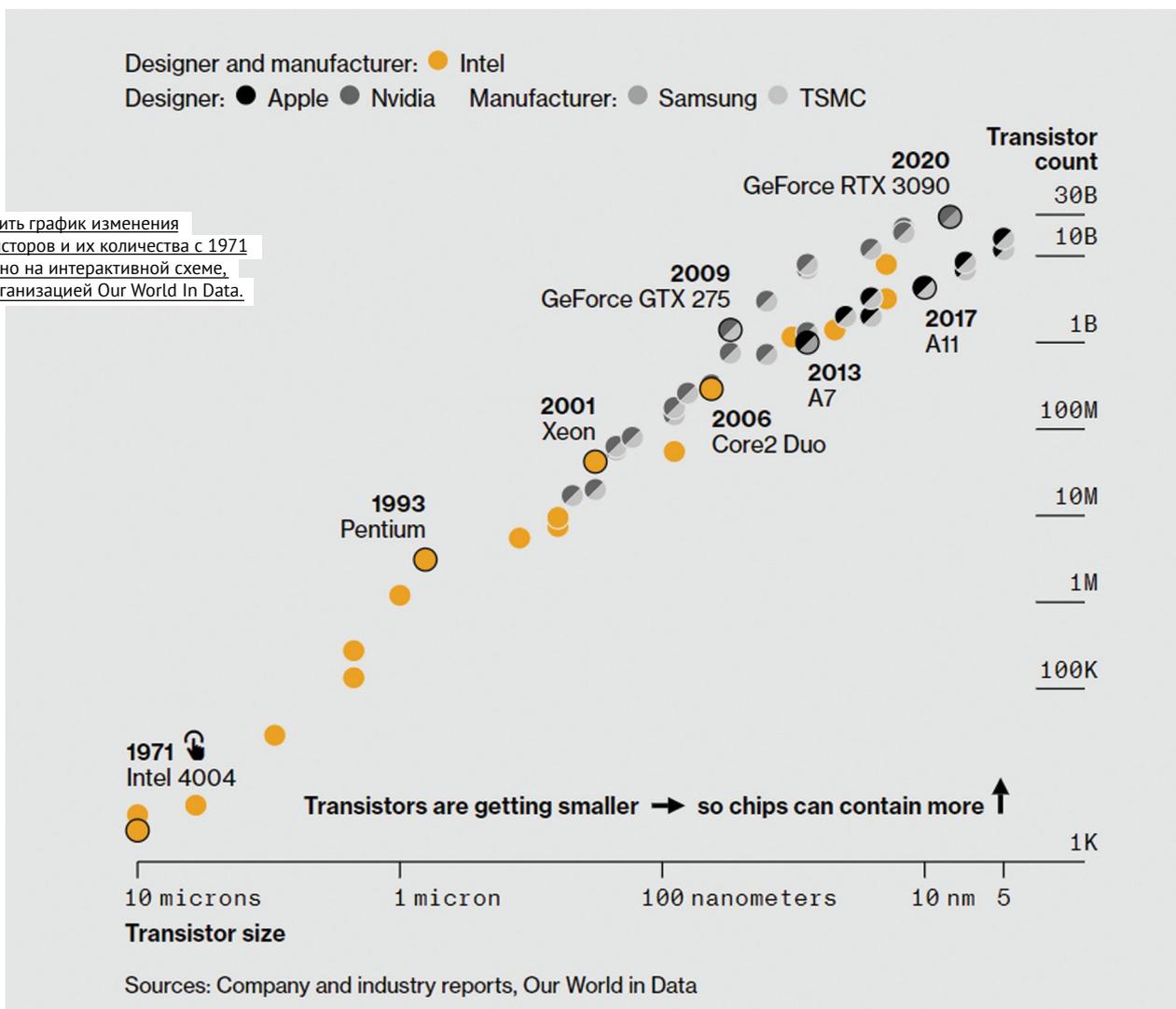
Нанозлектроника – это область микроэлектроники, охватывающая проблемы создания интегральных микросхем с топологической нормой менее 100 нанометров.

из них – это дальнейшее возможное уменьшение размеров размещаемых транзисторов и проблема паразитного влияния внутренних соединений, а также проблемы теплоотвода, дефектов подложки и контроля параметров.

Еще одним перспективным направлением в микроэлектронике является так называемая высокотемпературная электронная компонентная база – область электроники, функционирующей при температуре свыше 150 °С, в основе которой лежит карбид кремния. По сравнению с более распространенными на данный момент соединениями кремния и галлия, использующихся на производстве, карбид кремния имеет ряд преимуществ, которые могут сыграть роль в различных отраслях производства и расширить существующие возможности: он обладает существенно большей электрической прочностью и теплопроводностью, устойчив к радиации, имеет более высокие допустимые рабочие температуры, большую запрещенную зону и стабильность электрических элементов. Эти свойства могут оказаться полезными при работе в условиях с высокими температурами: например, это добыча энергоресурсов, промышленность, электроника для автомобилей, электроника для авиации и космоса.



Наглядно отследить график изменения размеров транзисторов и их количества с 1971 по 2020 год можно на интерактивной схеме, составленной организацией Our World In Data.



## МИКРОЭЛЕКТРОНИКА В РОССИИ



В современном мире великой может называться только та страна, у которой есть развитая современная электронная промышленность, в первую очередь микроэлектроника.



Директор департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ Василий Шпак в интервью изданию "Стимул", 05.04.2021

Существует несколько вариантов классификации микросхем. В странах запада наиболее распространена функциональная, где они делятся на три класса, исходя из их назначения:

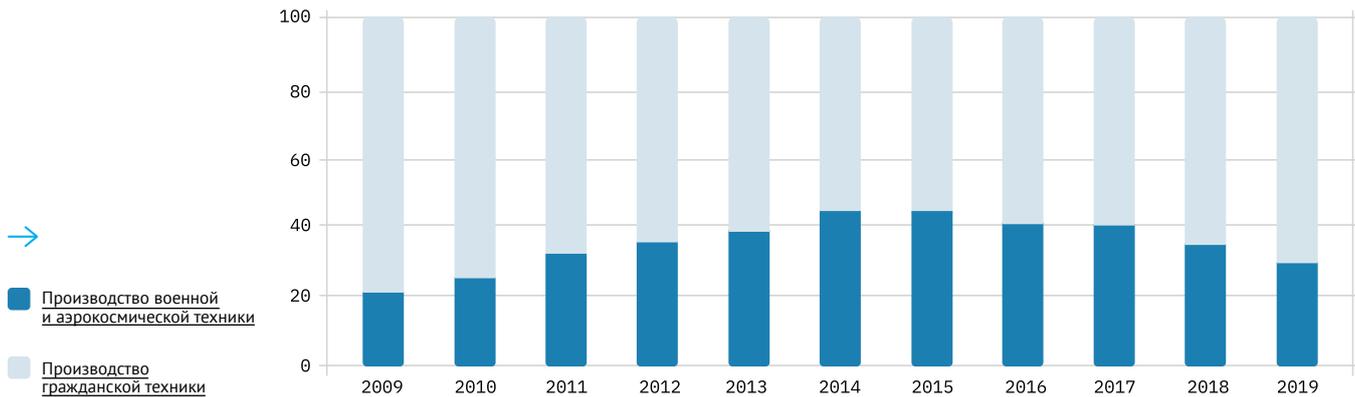
- [ 1 ] **Military** – военная отрасль – микросхемы, прошедшие дополнительное тестирование, рассчитанные на широкий температурный диапазон (например, -40..125 °C) и опционально имеющие металлокерамический корпус.
- [ 2 ] **Space** – космическая отрасль – радиационно-стойкие микросхемы для космического применения, с обязательным наличием металлокерамического корпуса. На микросхемы Military и особенно Space существуют жесткие ограничения на экспорт.

- [ 3 ] **Industrial** – промышленная отрасль – обычные, самые массовые микросхемы для домашних и офисных продуктов, обычно рассчитанные на диапазон температур 0..75°C

В России первые два класса уже давно активно производятся и внедряются, и основным приоритетом развития в ближайшее время может стать наиболее широкий класс – промышленный. В этой области имеется достаточно много запросов от конечных потребителей, над удовлетворением которых нужно работать производителям. Чем больше развиваются технологии, тем больше становится спрос на различные датчики и другие микроэлектронные устройства, что создает множество возможностей для разработки этого направления.

**Изменение доли сегмента военной и аэрокосмической техники по сравнению с сегментами гражданской продукции.**

Апрель 2021



Источник: Информационно-аналитический центр современной электроники

Необходимо заметить, что одной из особенностей российского производства микроэлектронных устройств является то, что зачастую выпуск таких компонентов зависит от объемов заказа, и, как следствие, производители не имеют большого запаса тех или иных микросхем на складах. В случае появления крупного контракта они, как правило, запускают производство в оперативном режиме, чтобы сократить время выхода готовых изделий до минимума. Такой вариант требует гибких бизнес-процессов, которые готовы в любой момент соответственно отреагировать на нужды производства, и четкой координации всех участников производственных процессов.

Исходя из вышесказанного, возникает вопрос о массовости производства: это позволило бы совершить отечественной микроэлектронике существенный рывок вперед. Однако это требует больших затрат – как финансовых и трудовых, так и временных и технологических. В первую очередь, речь идет об использовании нанотехнологий: применении новых материалов, например, внедрении в производство химических элементов 3 и 5 групп; миниатюризации и дальнейшей интеграции с имеющимися технологическими процессами.

Подобными разработками в области микроэлектроники на данный момент в нашей стране занимаются такие научные заведения, как Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Физико-технологический институт РАН, Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН, Институт физики микроструктур РАН, Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН. Также развитие микроэлектроники является частью Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года.

Несмотря на то, что рынок микроэлектроники в РФ после распада СССР долгое время зависел преимущественно от зарубежных производителей, в последние годы ситуация начинает меняться. Этому способствовали многие факторы от развития отечественного высокотехнологичного производства до санкций, наложенных на экономику. По этой причине российский сектор должен развиваться достаточно быстрыми темпами, наверстав отставание последних десятилетий. Пока основные производственные мощности отечественной микроэлектроники сосредоточены в Московской области, но в будущем возможен запуск производства в регионах, имеющих производственный потенциал.

С другой стороны, сейчас многие компании работают по модели fables, при которой компания-производитель специализируется только на разработке и продаже микроэлектроники, но не имеет собственных производственных мощностей и пользуется услугами OEM-предприятий (original equipment manufacturer – «оригинальный производитель оборудования») для производства. Эта схема отлично работает в спокойные времена, но начинает давать сбои в периоды кризисов.

Уже с середины 2019 года в сфере закупок действуют ограничения на допуск иностранной радиоэлектронной продукции в соответствии с постановлением Правительства РФ. В связи с этим был разработан Единый реестр российской радиоэлектронной продукции (ЕРРРП) Минпромторга. Он содержит сведения о технологических решениях, имеющих статус российской радиоэлектронной продукции. Он позволяет быстро искать товары по ИНН, коду ОКПД2, региону и отрасли производителя. Реестр призван упорядочить и упростить процедуры допуска и проведения госзакупок, например:

- продукты из Реестра получают ценовые преференции при закупках (текущие льготы);
- при двух российских участниках в конкурсе иностранные компании будут автоматически его проигрывать (правило «третий лишний»).

Среди прочих мер, принятых правительством РФ для поддержки отечественных производителей микроэлектронных устройств, можно выделить следующие:

- запуск кросс-отраслевых проектов, направленных на развитие электронной промышленности и внедрение отечественных решений во всех секторах экономики;
- компенсация расходов компаний, закупающих электронику российского производства, в размере до 50%.

Летом 2021 года появился проект поправок Минпромторга к постановлению правительства РФ №719, которое регулирует импортозамещение электронных компонентов в госсекторе. Министерство предложило сдвинуть срок перехода госсектора на российские процессоры до 2023 года. Несмотря на это, 1 января 2022 года в России вступили в действие ограничения, препятствующие прямой закупке иностранных комплектующих для целого ряда компаний. Учитывая определенные сложности, с которыми можно столкнуться в процессе перехода на отечественные комплектующие, правительство предложило ступенчатую систему: так, вначале допустимо установить процессор зарубежного производства, дополнив его российскими комплектующими, но с течением времени требования будут ужесточаться. Предполагалось, что первые итоги будут подведены летом 2022 года. Изменение мировой политической ситуации весной 2022 года, вероятно, будет способствовать ускорению импортозамещения в России.

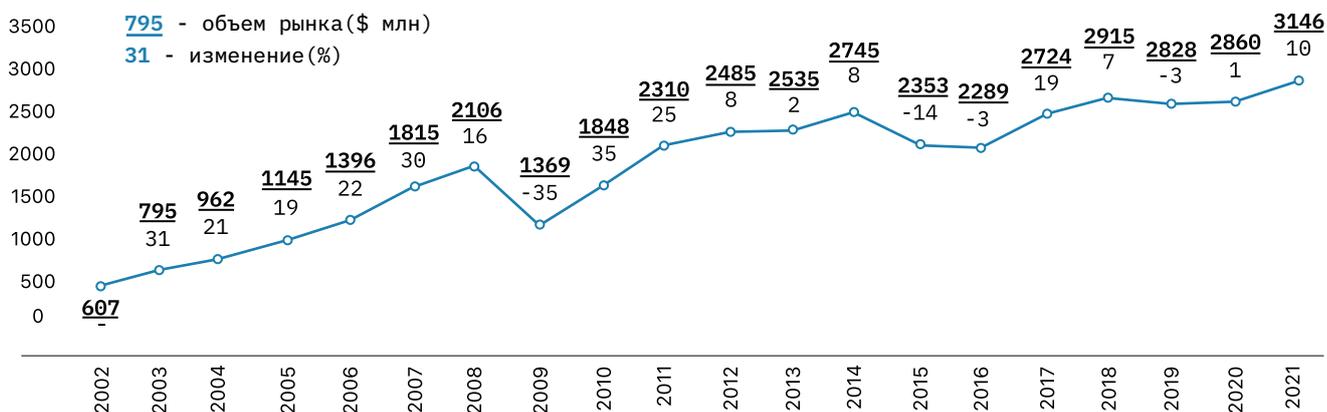
**Сегментация российского рынка электронных компонентов по группам заказчиков.**



На начало 2022 года большинство крупных российских предприятий и научно-исследовательских институтов в области электронной промышленности консолидирует холдинг «Росэлектроника», который был основан в 1997 году и на момент создания в него входило 33 предприятия электронной промышленности. В настоящее время в состав холдинга входит более 140 производственных организаций и научных институтов, которые специализируются на разработке и производстве изделий электронной техники, электронных материалов и оборудования для их изготовления,

полупроводниковых приборов и технических средств связи. Холдинг состоит из дивизионов, каждый из которых специализируется на конкретном виде производства, и микроэлектроникой занимается дивизион «ЭЖБ и СВЧ», в состав которого входят 44 организации. Цель дивизиона – разработка и серийное производство изделий СВЧ-электроники и электронной компонентной базы, выпуск микроэлектронной продукции, в том числе интегральных схем и полупроводниковых приборов специальной электроники, производство средств отображения информации.

#### ОБЪЕМ РОССИЙСКОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПО ДАННЫМ АРПЭ



Материал от октября 2021

#### Крупнейшие российские производители полупроводниковых компонентов по объему продаж

Название компании	Объем продаж в 2020 году (млн долл)	Прирост в 2020 по сравнению с 2019 гг. (%)
Миландр	49,6	26
Микрон	38,4	-41
Кремний Эл	31,3	-13
ВЗПП-С	29,9	-26
Протон	27,3	8

В 2020 году было объявлено о разработанной «Ростехом» дорожной карте по развитию отечественной микроэлектроники. Госкорпорация предлагает инвестировать в этот рынок 798 млрд рублей до 2024 года.

# РЫНОК МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

## ОБЪЕМ МИРОВОГО РЫНКА

Несмотря на не самую благоприятную экономическую ситуацию, объем рынка микроэлектроники преодолел спад 2019 года (тогда он снизился на 19%) и в 2020 году вырос на 7,3%, составив 449,8 миллиардов долларов.

По данным глобальной промышленной ассоциации SEMI, в 2022 году мировые продажи оборудования для полупроводникового производства превысят \$100 млрд, это новый максимум после увеличения в 2021-м на 34% (до \$95,3 млрд) по сравнению с \$71,1 млрд в 2020-м. Более того, прогноз, скорее всего, не изменится из-за текущей политической ситуации.

Стоит отметить, что 6 из 10 компаний, входящих в десятку крупнейших производителей, включая лидера, располагаются в США, а остальные – в азиатском регионе.

Позиция в списке	Компания	Страна	Объем продаж (млрд долл.), 2020	Доля рынка (%), 2020	Объем продаж (млрд долл.), 2019	Рост (%), 2019-2020
1	Intel	США	70,244	15,6	67,754	3,7
2	Samsung Electronics	Южная Корея	56,197	12,5	52,191	7,7
3	SK hynix	Южная Корея	25,271	5,6	22,297	13,3
4	Micron Technology	США	22,098	4,9	20,254	9,1
5	Qualcomm	США	17,906	4,0	13,613	31,5
6	Broadcom	США	15,695	3,5	15,322	2,4
7	Texas Instruments	США	13,074	2,9	13,364	-2,2
8	MediaTek	Тайвань	11,008	2,4	7,959	38,3
9	KIOXIA	Япония	10,208	2,3	7,827	30,4
10	Nvidia	США	10,095	2,2	7,331	37,7
	<b>Остальные</b>		<b>198,042</b>	<b>44,0</b>	<b>191,236</b>	<b>3,6</b>
	<b>Всего</b>		<b>449,838</b>	<b>100,0</b>	<b>419,148</b>	<b>7,3</b>

Если говорить об общих цифрах, то нижеприведенный график демонстрирует то, как выглядит прогноз доходности компаний в зависимости от их ежегодного дохода. Можно отметить, что наибольший рост прибыли ожидается у компаний со сравнительно небольшим уровнем дохода (менее 10 миллионов долларов) – планируется, что почти половина их увеличит прибыль более, чем на 20%, в то время как среди компаний с годовым оборотом более миллиарда долларов таких компаний лишь 7%, что говорит о том, что небольшие организации также укрепляют свои позиции на рынке. Большинство подобных небольших компаний можно условно разделить на две группы:



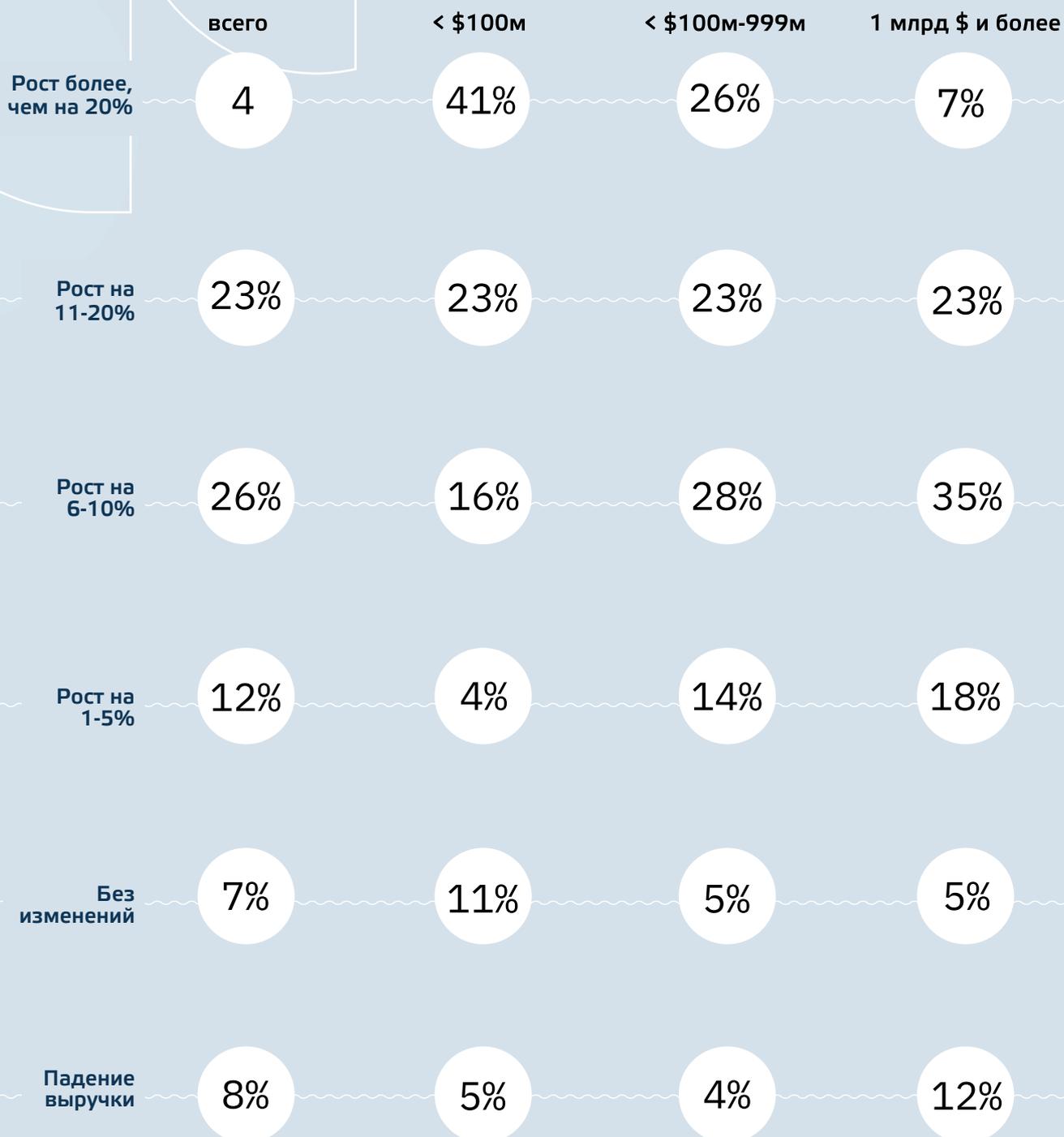
**проектировщики (фаблесс)**, передающие непосредственное производство компаниям-производителям и сборщикам;



**производители (мини-фабы)**: компактные технологические линии для производства небольших партий электронных компонентов.

Прогноз роста выручки компаний в 2022 году по сравнению с 2021 годом

## КОМПАНИИ С ЕЖЕГОДНОЙ ВЫРУЧКОЙ



# ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

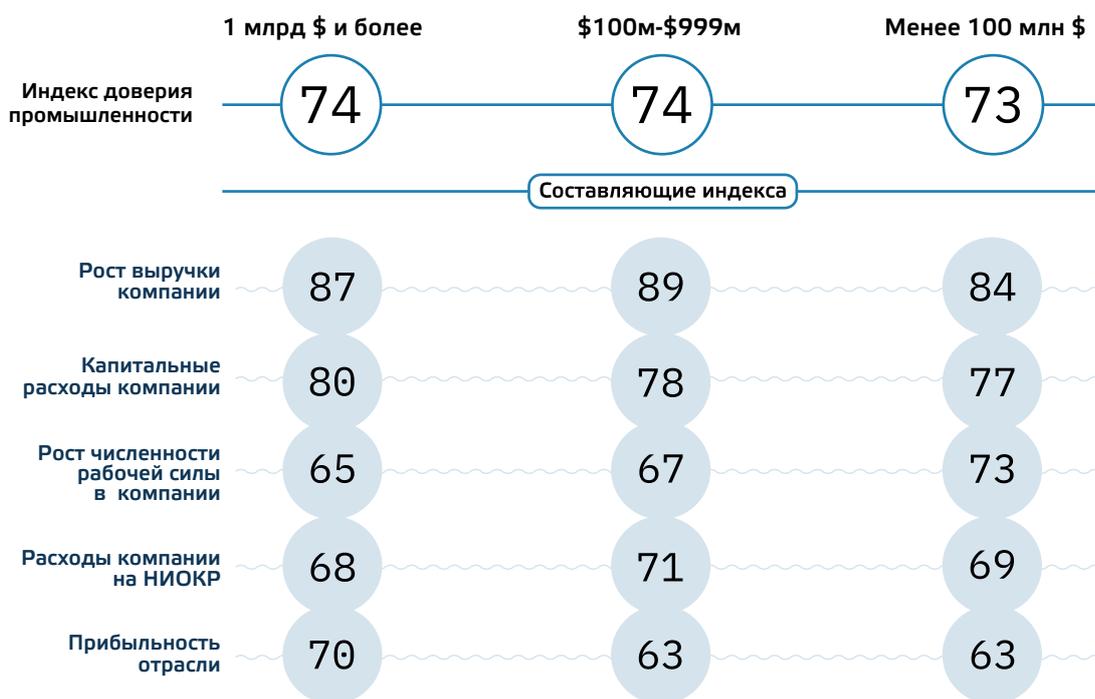
Вот уже в течение семнадцати лет компания KPMG ежегодно проводит глобальный опрос компаний-производителей полупроводников. В 2022 году в опросе приняли участие 152 респондента из стран Европы, США и АТР. Согласно результатам опроса, хотя отрасль и испытала негативное влияние пандемии, на данный момент она успешно преодолела кризис и продолжает восстанавливаться быстрыми темпами. Среди основных выводов, сделанных компаниями, можно отметить следующие пункты:

- Прибыль полупроводниковой индустрии составила 556 млрд долларов в 2021 году. В 2022 году по прогнозам она составит около 600 млрд долларов.
- Многие респонденты считают, что кризис полупроводников продолжится и в текущем, и в следующем году.
- 53% участников опроса сообщили о том, что их компании переориентировались на конечный рынок, то есть сделали приоритетом потребности конечных потребителей их продуктов.
- Ожидается, что в 2022 году автопроизводители вернут более 80 процентов из 125 миллиардов долларов дохода, потерянных индустрией из-за кризиса полупроводников.
- Стратегическим кадровым приоритетом остается поиск новых специалистов. В последнее время этот процесс осложняется некоторыми препятствиями: например, профессиональным выгоранием или переманиванием специалистов в корпорации-гиганты.
- 95% респондентов ожидают увеличения прибыли по сравнению с прошлым годом.
- Топ-3 стратегических приоритета: поиск и удержание талантов; гибкость цепочки поставок; слияния и поглощения компаний (M&A).

## ФИНАНСОВЫЕ ОЖИДАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- Оптимистичные прогнозы увеличения выручки связаны с рекордными запросами конечных рынков, от коммуникаций и автомобильной отрасли до здравоохранения и бытовой электроники, а также высокой рентабельностью деятельности компаний в индустрии. Подавляющее большинство респондентов (88%) также ожидают увеличения количества рабочей силы. Тем не менее, такие прогнозы также подразумевают и увеличение стоимости операционных расходов.
- Благодаря развитию технологий 5G и искусственного интеллекта, увеличению количества электромобилей и возрастающему спросу на чипы в приложениях для интернета вещей и потребительской электронике, производители ожидают, что продажи в полупроводниковой индустрии превысят отметку в 600 млрд долларов в течение последующих 12 месяцев. Что немаловажно, роста выручки ожидают как крупные, так и средние и небольшие компании.
- Отдельно следует отметить индекс доверия промышленности KPMG: с 2021 года он вырос на 13% и составил рекордные 74%. Индекс основан на прогнозах респондентов касательно дохода, роста рабочей силы, капитальных затрат, расходов на НИОКР и операционную рентабельность.

ИНДЕКС ДОВЕРИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЕГО ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

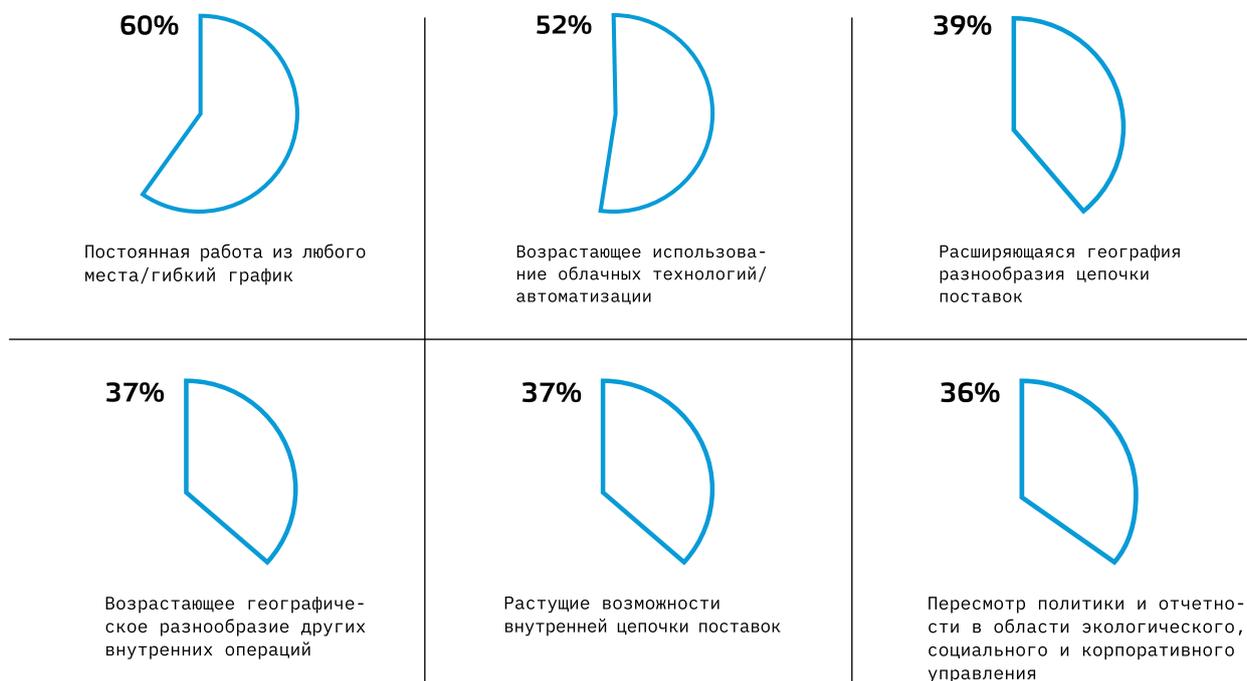


## ОПЕРАТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Полупроводниковые компании продолжают организовывать свою деятельность вокруг конечных рынков (автомобильная промышленность, коммуникации, потребительская электроника), а не продуктов. Это утверждение верно для большинства крупных и средних компаний. Такой подход предполагает фокус на уникальных характеристиках продукта, в отличие от прежнего подхода, где товар стремились сделать максимально универсальным. Это может сыграть положительную роль в развитии некоторых отраслей, например, автомобильной промышленности, которая требует все большего количества полупроводниковой продукции ежегодно. Если полупроводниковые компании будут ориентированы на конкретные задачи, это поможет уменьшить вероятность срыва поставок внутри индустрии.

В результате пандемии COVID-19 большинство компаний внедрили удаленную работу и/или гибкий график. Интересно, что это было отмечено в основном респондентами из США и стран ЕБВА (Европы, Ближнего Востока и Африки) (63% и 76% соответственно), в то время как среди представителей АТР эту точку зрения разделили лишь 37%. Одним из факторов такого разрыва может являться то, что большинство компаний в Азии и Тихоокеанском регионе специализируются на заказном изготовлении полупроводников, и требуют постоянного физического присутствия сотрудников. Среди других последствий пандемии производители выделяют рост использования облачных технологий и автоматизации (52%) и реорганизацию цепочки поставок (37% производителей планируют увеличить внутренние потенциал внутренних цепочек поставок, и 39% планируют расширить их географически).

### ДОЛГОСРОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВЛИЯНИЕМ COVID-19



**Более половины респондентов считают, что продолжающийся кризис полупроводников закончится не раньше 2023 года**

### ПРОГНОЗЫ КАСАТЕЛЬНО СРОКА ОКОНЧАНИЯ КРИЗИСА ПОЛУПРОВОДНИКОВ



## ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Респонденты снова рассматривают датчики/MEMS как сегмент, представляющий наибольшую возможность роста. Согласно ответам респондентов, ключевые товары полупроводниковой продукции почти идентичны прошлогоднему обзору, за исключением того, что микропроцессоры обошли аналоговый/радиочастотный/смешанный сигнал. По мнению опрошенных компаний, областью роста номер один снова стали датчики/МЭМС, которые стали все чаще использоваться в приложениях для интернета вещей, смартфонах и носимых устройствах, а также автомобильной промышленности, а интернет вещей, лидировавший на протяжении последних нескольких лет, был смещен на второе место. Такие изменения отражают последние тенденции отрасли – в частности, рост 5G и распространение полупроводников в области автомобильной безопасности, **инфотейнмента\*** и прочих.

Помимо этого, все больше продуктовых решений нацелены на электрический транспорт, дата-центры и интернет вещей. Важным аспектом также остается сектор автоматизации, хотя его доля сравнительно невелика – около 10%. За развитием этой отрасли наблюдать будет особенно интересно, так как раньше производство полупроводниковых устройств для автоматизации требовало долгой разработки и тестировочных процессов, и в прошлом это мешало привлечь потенциальных инвесторов, однако за последние два года ситуация существенно изменилась. KPMG ожидает, что рынок автоматизации вырастет в четыре раза и превысит отметку в 200 млрд долларов в течение ближайших двух десятилетий.

### Факторы, которые могут привести к увеличению выручки компаний в следующем году (оценка по шкале от 1 до 5, где 1 = низкий рост и 5 = высокий рост)

ОБЛАСТИ, КОТОРЫЕ СТАНУТ ОСНОВНЫМИ ФАКТОРАМИ ДОХОДА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПАНИЙ В СЛЕДУЮЩЕМ ГОДУ



## ПРОБЛЕМЫ ОТРАСЛИ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Подавляющее большинство респондентов в качестве стратегического приоритета развития на ближайшие 3 года выделяют поиск, развитие и удержание талантов. Как уже упоминалось выше, почти 80% респондентов отметили кадровый вопрос проблемой №1. Отрасль испытывает нехватку специалистов уже на протяжении нескольких лет. Тем не менее, здесь возникает противоречие: по результатам опроса около 88% компаний ожидают увеличения количества рабочей силы в ближайшее время, но возможно ли найти такое большое количество работников? Возможно, в такой ситуации компаниям было бы актуально задуматься о повышении квалификации и переквалификации существующих работников, запуске учебных программ и партнерстве с колледжами и университетами для увеличения количества выпускников с соответствующими техническими знаниями в искомых областях.

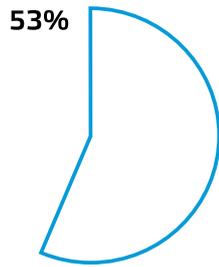
Важным аспектом, влияющим на развитие отрасли, является геополитическая ситуация, которая в последнее время несколько

нестабильна. В этом вопросе производителей особенно волнует гегемония Тайваня в мировой цепочке поставок полупроводников, национализация технологий и интеллектуальной собственности, а также тарифы и изменения в торговых сделках. Также отмечаются все более активные попытки правительств США, Европы и Китая по увеличению внутреннего полупроводникового производства.

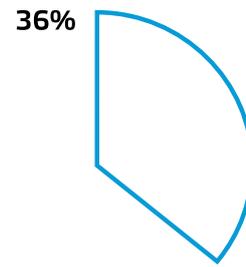
Респонденты дают оптимистичный прогноз активности в сфере слияний и поглощений компаний. Этот фактор особенно важен для небольших компаний, 62% которых планируют подобные сделки в будущем.

\* **Инфотейнмен** — это способ подачи теле- или радиовещательного материала, который нацелен как на развлечение, так и на информирование аудитории.

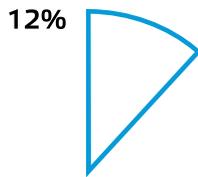
**Виды сделок по слиянию и поглощению и/или изъятию активов, которые компании намереваются совершить в течение последующих трех лет**



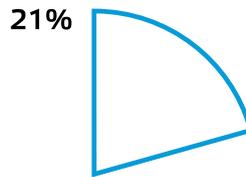
Мелкомасштабные



Трансформационные



Изъятие непрофильных активов



Нет планов по слиянию и поглощению/изъятию активов

Проблемы последних двух лет подчеркнули неоспоримую важность полупроводников практически во всех аспектах жизни, от бизнеса до национальной безопасности. Экономическая устойчивость многих отраслей была бы невозможна без удаленного подключения, больших объемов вычислений и надежной связи, которые функционируют в том числе на базе полупроводниковых технологий. Вызовы пандемии и последние события на геополитической арене также выявили слабые места в цепочках поставок. Работа над этими недостатками должна стать приоритетом для полупроводниковых компаний.

Чтобы отрасль продолжила свое успешное развитие, компания KPMG предлагает опрошенным производителям обратить внимание на следующие моменты:

- Обеспечить устойчивость цепочки поставок, которая включает в себя сотрудничество с важными конечными клиентами, для обеспечения как долгосрочного, так и краткосрочного спроса; создание централизованных групп для контроля закупок определенных компонентов; рассмотрение возможности организационных изменений для рационализации и оптимизации цепочки поставок; а также использование инструментов планирования с искусственным интеллектом.
- Распределение капитала: необходимо убедиться, что распределение портфеля готово отражать любую реорганизацию, которая могла произойти в стратегической направленности организации в долгосрочной перспективе; а также обеспечить расстановку приоритетов и постоянный контроль хода выполнения проекта.
- Стратегия слияний и поглощений: в первую очередь, оценка потенциальных целей слияний и поглощений должна производиться через призму «производить или покупать», также необходимо четко определять, что станет главной целью слияния/поглощения: приобретение технологии/ИС, кадров или потенциала.
- Стратегия талантов/кадровых ресурсов может включать в себя следующие шаги: инвентаризация навыков для определения имеющихся знаний и компетенций и создание дорожной карты в контексте новой гибридной рабочей среды для определения важных точек аспектов работы.

Подводя итог вышесказанному, можно отметить, что в последние годы рынок микроэлектроники претерпел определенные изменения, как, впрочем, и многие другие отрасли. Пандемия Covid-19, нестабильная геополитическая обстановка и даже климатические перемены оказали свое влияние на дальнейшее развитие этой сферы. Пока что рынок микроэлектроники является глобальным и достаточно мелкосерийным. Он представляет собой огромное количество датчиков, счетчиков, сенсоров, транзисторов и других подобных устройств, которые собирают и передают данные. Список всевозможных комплектующих весьма обширен и продолжает увеличиваться, в том числе благодаря развитию технологий и новым вызовам, на которые индустрия должна своевременно реагировать.

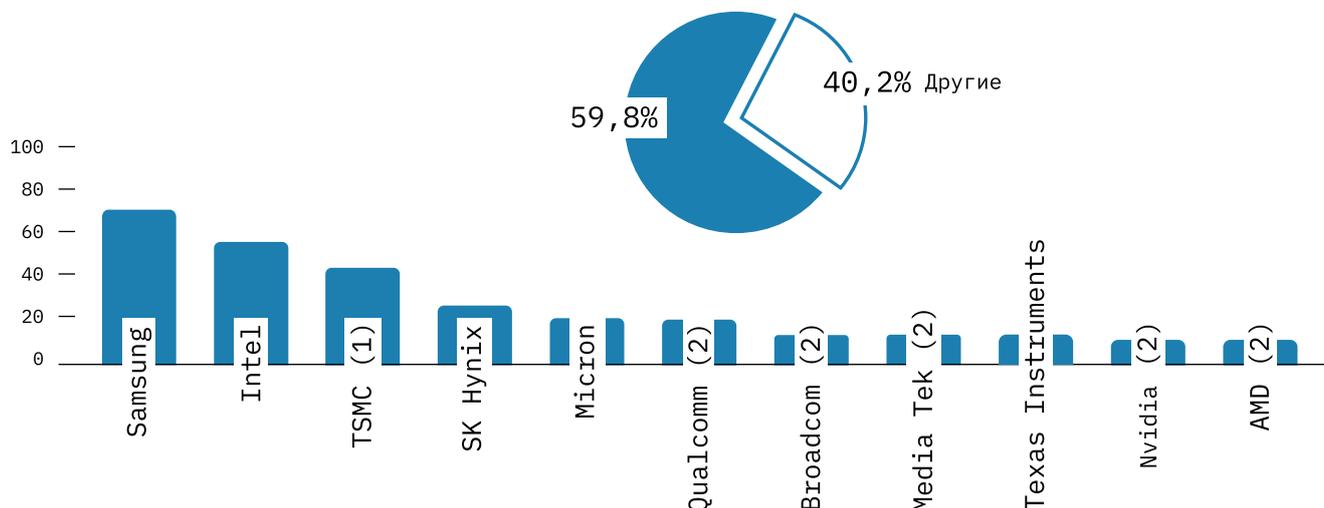
К сегодняшнему дню микроэлектроника прошла уже основные стадии своего развития и становления и остается важной и перспективной областью, оказывающей непосредственное влияние на научно-техническое развитие общества. При этом темпы развития микроэлектроники находятся вне конкуренции с любыми другими отраслями современной промышленности, что потребует использования новых материалов и их композиций, а также новых технологических процессов и их сочетаний, а значит, и новых научных достижений.

**Материал подготовила:**  
Лейсан Василова

# МИРОВЫЕ ЛИДЕРЫ В ОБЛАСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

» > КРУПНЕЙШИЕ МИРОВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПО ОБЪЕМУ ПРОДАЖ (МЛРД ДОЛЛ.), 2021

\* (1) Foundry (2) Fables\*



## Intel, США



**Год основания:** 1968  
**Штаб-квартира:** Санта-Клара (Калифорния)

**Продукция:**

Процессоры, микросхемы, графические процессоры, микропроцессоры, микрочипы, полупроводниковые компоненты, память, серверная продукция

Компания является разработчиком и производителем электронных устройств и компьютерных компонентов. Intel осуществлял в России целый ряд успешных программ в сфере школьного и вузовского образования. Программа «Intel Обучение для будущего», объявленная в 2000 году лишь в ряде штатов США, на сегодня охватывает свыше 10 млн учителей более чем из 40 стран мира.

жидкокристаллических дисплеев, мобильных телефонов и мониторов. В Москве в исследовательском центре Samsung активно действует научная лаборатория, которая фокусируется на ИИ. Samsung является лидером в производстве памяти DRAM и SRAM уже 13 лет. Наиболее крупные клиенты: Sony, Apple Inc, Dell. В России Samsung с 2014 года активно ведет образовательный проект IT школа Samsung, который дает возможность бесплатного годового обучения для старшеклассников.

## Samsung Electronics, Южная Корея



**Год основания:** 1969  
**Штаб-квартира:** Сувон (Республика Корея)

**Продукция:**

Электроника, бытовая техника, телекоммуникационные устройства, полупроводниковые устройства, память

Транснациональная компания по производству электроники, полупроводников, телекоммуникационного оборудования, чипов памяти,

## TSMC, Тайвань



**Год основания:** 1987  
**Штаб-квартира:** Синьчжу (Тайвань)

**Продукция:**

Микросхемы, полупроводники

Компания является первым в мире специализированным литейным заводом по производству полупроводников. TSMC – разработчик большого количества перспективных технологий. Согласно информации TrendForce на конец 2017 года, TSMC – крупнейший контрактный производитель полупроводниковых микросхем с долей рынка 55,9%. По более поздним данным, поквартальная валовая прибыль на 2021 год достигла 56%.

TSMC объявила о достижении техпроцесса 1 нм, который позволит создавать процессоры с транзисторами толщиной в один атом. Крупными клиентами компании являются HiSilicon, MediaTek, Huawei, NVIDIA, Apple, Broadcom, Conexant, Marvell, Intel.

\* **Бесфабричная компания (от англ. fabless)** - модель организации бизнеса в электронной промышленности, при которой компания-производитель специализируется только на разработке и продаже микроэлектроники, но не имеет собственных производственных мощностей.

## SK hynix, Южная Корея



**Год основания:** 1983 как Hyundai Electric Industry;  
2001 как Hynix Semiconductors;  
2012 как SK hynix

**Штаб-квартира:** Ичхон (Республика Корея)

### Продукция:

Различные виды полупроводниковой памяти

Компания специализируется на производстве полупроводниковой памяти типа DRAM и NAND. SK hynix является третьим в мире производителем микросхем (после Intel и Samsung Electronics) и входит в пятерку ведущих производителей оперативной памяти. Производственные площадки находятся в Республике Корея, США, Китае и Тайване. Память Hynix также используется в DVD-проигрывателях, сотовых телефонах, ресиверах цифрового телевидения, сетевом оборудовании и жестких дисках.

## Micron Technology, США



**Год основания:** 1978  
**Штаб-квартира:** Бойсе (Айдахо)

### Продукция:

Память DRAM, NAND и NOR, SSD-накопители, датчики CMOS

Транснациональная корпорация, которая стала известна своей полупроводниковой продукцией, основную часть которой составляют чипы памяти DRAM и NAND, флеш-память, SSD-накопители, а также датчики CMOS. Продукция для потребительского рынка продается под торговой маркой Crucial Technology и малая часть продукции выходит под маркой Micron. Micron в 2020 году первой в мире вывела на рынок 176-слойную NAND-память.

## Qualcomm, США



**Год основания:** 1985  
**Штаб-квартира:** Сан-Диего (Калифорния)

### Продукция:

Мобильные процессоры, чипы для беспроводной сети

Компания занимается разработкой и исследованием беспроводных средств связи, а также SoC. Qualcomm впервые в истории реализовала мобильный доступ в интернет.

Qualcomm 14 января 2021 года за \$1,4 млрд купила стартап Nuvia, который занимается разработкой ARM-процессоров для центров обработки данных. Компания Nuvia основана бывшими менеджерами компании Apple, которые руководили разработками мобильных процессоров серии Apple A.

## Broadcom, США



**Год основания:** 1961  
**Штаб-квартира:** Сан-Хосе (Калифорния)

### Продукция:

Микросхемы для проводных и беспроводных сетей, автомобильное оборудование

Компания разрабатывает полупроводниковые продукты. Broadcom является мировым лидером во многих сегментах продукции, обслуживая самые успешные компании мира.

Broadcom выпускает широкий спектр аналоговых, смешанных, и опто-электронных модулей для более чем 40000 клиентов. Компания продаёт более 6500 видов продуктов OEM-клиентам в области проводных и беспроводных коммуникаций, промышленной и автомобильной электроники, бытовой и электрической техники. По итогам 2019 года компания стала пятым по выручке мировым производителем микроэлектронных компонентов с долей 3,7%.

## Nvidia, США



**Год основания:** 1993  
**Штаб-квартира:** Санта-Клара (Калифорния)

### Продукция:

Графические процессоры, системы на чипе (SoC) и видеокарты

Разработки компании получили распространение в индустрии видеоигр, сфере профессиональной визуализации, майнинга, области высокопроизводительных вычислений и автомобильной промышленности, где бортовые компьютеры Nvidia используются в качестве основы для беспилотных автомобилей.

На IV квартал 2018 года была крупнейшим в мире производителем PC-совместимой дискретной графики с долей 81,2 %

## Texas Instruments, США



**Год основания:** 1930  
**Штаб-квартира:** Даллас (Техас)

### Продукция:

Полупроводниковые приборы, микросхемы, электроники и изделия на их основе

Компания является 4-м в мире по размеру производителем полупроводниковых приборов, уступая лишь Intel, Samsung и Toshiba. Занимает 1-е место по производству микросхем для мобильных устройств, а также 1-е место по производству цифровых сигнальных процессоров (DSP) и аналоговых полупроводников. Также компания производит микросхемы для широкополосных модемов, компьютерной периферии, электронные бытовые устройства и RFID-метки. В 2009 году компания заняла 215 место в рейтинге Fortune 500.

## MediaTek, Тайвань



**Год основания:** 1997  
**Штаб-квартира:** Синьчжу (Тайвань)

### Продукция:

Микроэлектронные чипы для беспроводной связи и цифровых мультимедиа устройств

Компания занимается разработкой компонентов для отрасли связи, оптических систем хранения данных (DVD и тп.), GPS, HDTV. Наряду с Qualcomm является одним из крупнейших поставщиков чипсетов для смартфонов: в 2020 году занимала первое место с долей рынка на мировом рынке 31%. MediaTek – крупнейший поставщик чипов для китайских смартфонов, занимая на начало 2021 года более половины рынка.



## ПРОИЗВОДИТЕЛИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В РОССИИ

### Микрон, Зеленоград



**mikron**

**Год основания:** 1964

**Продукция:**

Интегральные схемы, процессоры

Компания является крупнейшим российским производителем и экспортером микроэлектронной продукции в России. Микрон производит более 700 типонаименований продукции, включая интегральные схемы для защищенных носителей данных, идентификационных, платежных и транспортных документов, управления питанием и FRID-маркировки для различных отраслей цифровой экономики. Каждый год компания производит более 4 млрд микросхем, а также для 20 отраслей – 480 млн FRID-чипы метки, карты.

### Байкал, Красногорск



**Baikal**  
ELECTRONICS

**Год основания:** 2012

**Продукция:**

Микропроцессоры, интегральные микросхемы, системы

Компания специализируется на проектировании интегральных микросхем и систем на кристалле на базе архитектур ARM и MIPS. Основными видами деятельности компании является разработка интегральных микросхем и разработка SDK для разработчиков программного и аппаратного обеспечения под разрабатываемые процессоры.

### Группа Кремний Эл, Брянск



**Год основания:** 1958

**Продукция:**

Дискретные компоненты (транзисторы и диоды), силовые модули, аналоговые и силовые чипы небольшой сложности

АО «Группа Кремний Эл», продукция которой поставляется более 700 предприятиям, занимает второе место в России по выпуску изделий микроэлектроники для предприятий РФ. Компания обладает производством с проектными нормами 700 нм, на данный момент объявили об освоении 500 нм и о планах на 350 нм. Каждый год «Группа Кремний Эл» принимает участие в госпрограммах на создание инновационных продуктов, более того инвестирует в разработку и освоение новых изделий более 200 млн рублей федерального бюджета и собственных средств.

### Элвис, Зеленоград



**ЭЭЛВИС**

**Год основания:** 1990

**Продукция:**

Микросхемы для систем связи и телекоммуникационного оборудования

Компания разработала более 50 типонаименований различных микросхем и систем на кристалле с проектными нормами 16 нм, 28 нм, 40 нм, 65 нм, 130 нм, 180 нм, 250 нм. Впервые в России были реализованы сетевые интерфейсы SpaceWire, а также гигабитные интерфейсы GigaSpaceWire и SpaceFibre в составе микросхем процессоров и коммутаторов, которые нашли широкое применение в различной аппаратуре. На данный момент АО НПЦ «Элвис» осуществляет проектирование микросхем по технологиям 16-28 нм, готово осваивать технологию проектирования по нормам 6 нм.

### Миландр, Зеленоград



**МИЛАНДР**  
ГРУППА КОМПАНИЙ

**Год основания:** 1993

**Продукция:**

Интегральные микросхемы, микроконтроллеры, микропроцессоры, микросхемы памяти, интерфейсные микросхемы

Компания является разработчиком и производителем интегральных микросхем. В компании сформирована уникальная научно-производственная база предприятия, созданы центры проектирования интегральных микросхем, радиоэлектронной аппаратуры, программного обеспечения, а также образовательный центр, сборочно-измерительное производство и испытательный центр. «Миландр» выпускает 550 тыс. микросхем в год и имеет более 1000 партнеров по всему миру.

### МЦСТ, Москва



**МЦСТ**  
ЭЛЬБРУС

**Год основания:** 1992

**Продукция:**

Микропроцессоры, микроконтроллеры, вычислительные комплексы, оптимизирующие компиляторы, операционные системы

Компания имеет опыт разработки супер-ЭВМ «Эльбрус», основу которой, по тестам производителя, составляет 8-ядерный процессор с производительностью от 8 до 768 Гфлопс. Все процессы изготавливаются по технологии пластин 28 нм, а процессор «Эльбрус-16С» по технологиям 16 нм.

## НТЦ «Модуль», Москва



**Год основания:** 1990

**Продукция:**

Интегральные микросхемы, вычислительные модули, системы управления

Компания создает высокопроизводительные процессорные ядра и аналого-цифровые системы-на-кристалле. На базе микросхем НТЦ «Модуль» разрабатывает и производит аппаратуру управления и контроля самых современных авиационных и космических систем, аппаратно-программные решения в области нейронных сетей, в том числе в части обработки видеопотока и изображений, навигации, связи, обнаружения и распознавания объектов. Компания выпустила восемь поколений процессоров и четыре поколения ядер для ИИ на ядре NeuroMatrix.

## АО «ВЗПП-С», Воронеж



**Год основания:** 1957

**Продукция:**

Дискретные полупроводниковые приборы, интегральные микросхемы, силовые полупроводниковые приборы, силовые модули

Предприятие зарекомендовало себя как надежного поставщика российских электронных компонентов, и занимает одно из лидирующих мест на рынке отечественной микроэлектроники и силовой электроники. Основная серийно-выпускаемая продукция включает в себя более 900 типонаименований. Основными потребителями продукции предприятия являются российские приборостроительные предприятия - изготовители аппаратуры связи, радиотехнических комплексов и систем, вычислительной техники, телекоммуникационного оборудования, специального технологического оборудования, систем интеллектуального управления.

## IVA Technologies, Москва



**Год основания:** 2016

**Продукция:**

Микропроцессор

Высокотехнологическая компания-производитель инновационных ИТ-решений для построения современной цифровой инфраструктуры входит в ГК «ХайТэк». IVA Technologies консолидировала научно-исследовательские, технологические компетенции в отраслях микроэлектроники, прикладной математики, радиофизики и радиотехники, объединив усилия лучших разработчиков, инженеров и исследователей. Офисы компании находятся в Иннополисе и Омске, а производство налажено в Новосибирске.

## Протон, Зеленоград



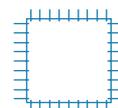
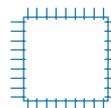
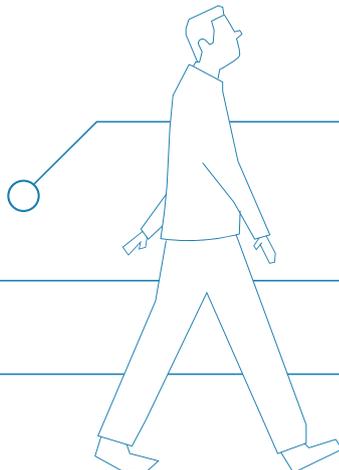
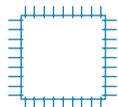
**Год основания:** 1972

**Продукция:**

Оптоэлектронная техника, яркие светодиоды, модули, индикаторы, светодиодные светильники, лампы и подсветки, светодиодный светофор и табло, заградительные огни, изделия автоэлектроники, оптроны и твердотельное реле

Завод известен, как Экспериментальный завод «Протон» Московского института электронной техники, он входил в число ведущих производственных коллективов при Министерстве образования СССР. И в настоящее время АО «Завод ПРОТОН» поддерживает высокое звание одного из лучших производственных предприятий, расположенных на территории России. Завод подтвердил качество продукции и получил «Сертификат соответствия» системы менеджмента качества ISO, а выпускаемая продукция полностью соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

**Материал подготовила:**  
Алина Винова



# ИВАН ПОКРОВСКИЙ



**В ассоциации нет никаких ограничений на вступление компаний, которые занимаются разработкой и производством электроники**



---

**Организация:** АРПЭ (Ассоциация российских разработчиков и производителей электроники)

**Дата основания:** 2017 год

---

**Материал подготовила:**  
Алина Винова

---

**Иван Покровский**

Исполнительный директор Ассоциации разработчиков и производителей электроники (АРПЭ)

## ПАРТНЕРЫ АССОЦИАЦИИ

Ассоциация российских разработчиков и производителей электроники (АРПЭ) – некоммерческое объединение компаний российской электронной отрасли.

### Предназначение Ассоциации:

- объединить отраслевое бизнес-сообщество для разработки решений по развитию отрасли;
- расширить коммуникации с заказчиками, партнерами и государственными регуляторами для реализации этих решений.

АРПЭ в своей работе опирается на принципы ответственности, равенства членов и открытости. Ассоциация создавалась, чтобы ответить на такие вопросы, как:

- В чем должен состоять вклад ассоциации в развитие мировой электронной промышленности, какую ценность для заказчиков, специалистов и инвесторов создают российские компании, чтобы претендовать на 5% мирового рынка?
- Как российским компаниям перейти от выживания в закрытых нишах к глобальной конкурентоспособности, преодолев технологическую зависимость от мировых монополий и слабость малых масштабов деятельности?



### ЦРБТ: Расскажите о том, как и для чего создавалась АРПЭ? Чем занимается организация и Вы в частности?

**И. П. :**  
Наша ассоциация – организация, которая помогает взаимодействовать отраслевому сообществу частных компаний российской электронной промышленности. Ассоциация объединяет именно частные компании, у нас на сегодня нет никаких запретов на участие государственных компаний, но исторически складывается так, что государственные компании входят в госкорпорации, крупные государственные холдинги, и координацией их деятельности занимаются эти структуры. Видимо поэтому, я так для себя объясняю, для них не так важно членство в нашей ассоциации. Частные самостоятельные компании, созданные предпринимателями и развивающиеся на открытом конкурентном рынке нуждаются в том, что им дает ассоциация: помогает договориться между собой, скоординировать свои действия, обменяться представлениями о рынке, получить более целостную картину о том, что происходит в отрасли.

Если говорить о предыстории, то сначала собрались несколько компаний, которые пришли собственно с запросом создать отраслевую стратегию развития российской электронной промышленности. Отталкиваясь от этого запроса в процессе разработки отраслевой стратегии, мы пришли к тому, что нам нужно зарегистрировать юридическое лицо для взаимодействия с государством, для работы с компаниями, для того, чтобы эту деятельность финансировать в конце концов. Вот это и привело к созданию ассоциации; изначально сформированные направления деятельности продолжают функционировать в том же виде: обеспечивать организацию отраслевого сообщества, координировать его и выработать общие представления и стратегии развития.

Мы начинали в условиях крайнего недофинансирования, то есть у нас не было возможностей с самого начала развернуть какой-то большой штаб, распределить задачи. Небольшим коллективом из 4 человек (сейчас уже больше людей в аппарате ассоциации) мы занимались практически всеми направлениями и задачами, которые ставит ассоциация.

**ПЕРВОЕ** – чтобы договориться, нужно встречаться лично или по видеоконференции. Организация большого количества числа мероприятий – это трудоемко, хлопотно и занимает много времени, но это необходимое условие для решения задач, ради которых создана ассоциация. Мы за это время провели очень много мероприятий, в том числе и в формате видеоконференций.

**ВТОРОЕ** – это уточнение представлений о рынке, о состоянии отрасли, об изменениях. Мы постоянно



собираем информацию от членов ассоциации и сторонних компаний, проводим большое число опросов, собираем таможенную статистику, приобретаем готовые отчеты и делимся этим с участниками ассоциации. Такая информационная аналитическая работа необходима для принятия решений.

**ТРЕТЬЕ** – это обобщение интересов и предложений членов. Мы часто получаем предложения, которые не то, чтобы противоречат друг другу, но, скажем так, опираются на разные интересы, и их сложно обобщить. Выделить из множества частных интересов общую задачу, которая объединяет большинство – это то, чем мы занимаемся.

Перед работой с государственными регуляторами нам нужно иметь у себя четкое представление о том, чего мы хотим, поэтому самые важные долгосрочные крупные задачи мы вносим в проект отраслевой стратегии.

Также по каждому вопросу, который актуален для отрасли, пусть даже краткосрочно, мы вырабатываем свою позицию, фиксируем это в письме, например, в адрес государственного регулятора или в адрес компании отрасли. Более того, мы стараемся формулировать задачи так, чтобы помимо позиции по частному вопросу были зафиксированы принципы, на которые мы опираемся, потому что нам важно, чтобы эти принципы закрепились.

Когда у нас согласованы принципы, то нам легко принимать решения, а когда нет, то каждая новая ситуация – конфликт.



« **Компании, вступая в ассоциацию, должны помнить о том, что эта организация создана не для продажи сервисов и услуг друг другу, а для решения общих отраслевых задач**



У нас большой фронт работы с государственными регуляторами: Минпромторг, Минцифры, Минэкономразвития, Евразийская экономическая комиссия. По многим вопросам, начиная с разработки отраслевой стратегии, мы оценили возможности государственного регулирования различных инструментов, рынка и инвестиционной поддержки со стороны государства. Далее — по каждому из этих инструментов сформулировали свою позицию и теперь стараемся убедить в этом регуляторов. Я считаю, что мы значительно продвинулись от того состояния, в котором регулирование находилось пять лет назад, к состоянию, которое мы имеем сейчас. Но нужно еще работать, потому что до целевого состояния, которого мы хотим достичь, еще довольно далеко.

Конечно, работа с государственными регуляторами — это большая ответственная часть, но, если оценивать по времени, то работа внутри нашей ассоциации занимает больше времени, то есть нам гораздо важнее договориться между собой и выработать позицию, потому что если мы ее сформулировали, то таким образом мы уже организовали влияние на регуляторов, которое необходимо отрасли. Договорившись между собой, мы уже запускаем процесс согласований необходимых решений.

**ЦРБТ:**  
**Кого объединяет АРПЭ? Что нужно сделать компаниям, чтобы вступить в вашу Ассоциацию, и какую поддержку вы им окажете?**

**И. П.:**  
Ассоциация объединяет частные компании, причем в ассоциацию входят компании с самой разной специализацией — это и производители электронных компонентов, и производители оборудования. Компании работают на разных рынках, но кто-то — пересекается между собой, а кто-то нет, и это

дает возможность членам ассоциации эффективно кооперироваться, потому что в конце концов все производители электроники опираются на один и тот же базовый набор технологий, на примерно одну и ту же номенклатуру электронных компонентов, на основе которой разрабатывается оборудование.

В ассоциации нет никаких ограничений на вступление компаний, которые занимаются разработкой и производством электроники. Если же в ассоциацию вступают компании, профильная деятельность которых иная, например, были заявки на вступление в ассоциацию вузов, то здесь есть ограничения. Вроде бы вузы нужны, и, казалось бы, что правильно принять вузы, потом — техникумы, торговые компании, которые занимаются дистрибуцией импортного оборудования, но это несет риск размывания границ сообщества. При сборе в единую организацию разработчиков и производителей электроники, их объединяют общие цели и задачи развития российской электронной промышленности. Сказать, что эти цели также близки вузам, техникумам, дистрибьюторам импортного оборудования, мы не можем. Да, мы где-то пересекаемся, где-то сходимся, но если мы будем раздвигать границы бесконечно, то в конце концов придем к тому, что мы не сможем договориться внутри нашего сообщества по принципиальному вопросу.

Конечно, собирая компании в ассоциацию, мы предполагаем, что компании приходят в первую очередь не для того, чтобы эффективнее решать свои частные задачи, а для того, чтобы присоединиться к решению общих задач, и это предполагает участие в деятельности и в финансировании ассоциации. Но не могу сказать, что мы игнорируем частные задачи или они никак не решаются. Тот объем информации, которым мы делимся с членами, стоит гораздо больше годовых взносов. То число контактов, которые компании получают в ассоциации, никаким другим способом невозможно получить. Например, чтобы запустить какой-нибудь проект, найти партнеров по кооперации, нужен контакт на уровне первых лиц и мы делимся этой информацией. Конечно, мы не распространяем личные контакты руководителей компании, но когда кто-то из членов обращается к нам, объясняет задачу, ради которой ему нужно установить контакт с другим членом ассоциации, то все члены открыты для этого. Это выгодно для решения каких-то частных задач. Но исходной предпосылкой все-таки мы считаем, что компании, вступая в ассоциацию, должны помнить о том, что эта организация создана не для продажи сервисов и услуг друг другу, а для решения общих отраслевых задач.

**ЦРБТ:**  
**Вы классифицируете отраслевые объединения по назначению на несколько категорий. Расскажите об этом подробнее.**

**И. П. :**  
 Да, пять категорий по назначению, по возможным целям. Нам пришлось с этим разобраться, потому что у многих компаний возникает вопрос: чем наша ассоциация отличается от отраслевых консорциумов, которые сейчас активно создаются по разным направлениям и от других ассоциаций. В целом представление следующее: когда мы говорим об ассоциации, то предполагаем наличие за ней отраслевого или профессионального сообщества, причем важна однородность этого сообщества по профессиональным интересам.

Среди членов ассоциации много конкурентов, и это является важным условием, если этого нет, то это что-то другое. Это «другое» есть консорциум. За ассоциацией стоит сообщество, которое решает общие отраслевые задачи, а консорциум как экономическое понятие — это кооперация компаний, которые не конкурируют, а дополняют друг друга для реализации какого-то крупного проекта. Например, это может быть проект, который в одиночку ни один из участников не выполнит, поэтому они объединяют свои ресурсы.

Другая форма объединения, которая сейчас достаточно распространена, — это картели, где компании объединяются, чтобы получить преимущество на рынке в первую очередь за счет ограничения конкуренции, которая может достигаться разными способами. Бывает такое, что объединение называется консорциумом, но по сути является картелем. Поэтому важно, что стоит за объединением: проект, в котором компании кооперируются между собой и реализуют его совместно, или интерес по совместному влиянию на регуляторов и по ограничению, например, доступа для других игроков. Первое — это консорциум, а второе — картель.

На самом деле границу провести очень сложно, потому что бывает так, что для реализации крупных проектов требуется влияние регуляторов, компании начинают его оказывать, но потом уже забывают о самом проекте, сохраняется только интерес на влияние регуляторов. Такое вполне бывает, когда из одной формы объединение переходит в другую. Говоря об ассоциации, которая объединяет отраслевые сообщества, можно выделить широкие объединения, как, например, наше, и также существуют, я считаю, нишевые ассоциации, где однородность членов существенно выше. У нас есть компании, которые конкурируют друг с другом, и есть те, которые дополняют друг друга. В нишевых ассоциациях собираются прямые конкуренты, однородность по профессиональным интересам, сплоченность таких сообществ может быть очень высока, но возможность влияния,

например, на отраслевую политику существенно ниже, потому что они представляют какое-то одно направление деятельности, им сложно делать обобщение, представить целиком картину рынка и отрасли, они видят все через призму своей профессиональной специализации. Мне кажется, очень продуктивным будет сотрудничество общих отраслевых широких ассоциаций, как наша, с такими нишевыми, однородными ассоциациями.

Существуют объединения, которые формируются вокруг государственных регуляторов. Их отличие в том, что уровень самостоятельности в принятии решений гораздо ниже, и в работе с регуляторами им сложно обеспечить независимую обратную связь. То есть мы взаимодействуем с регуляторами, даем свою оценку принятого решения независимо от того, насколько комфортна эта оценка. Важно получать независимую обратную связь, чтобы регулятор имел возможность скорректировать свое решение, если это необходимо. Но если ассоциация или иное отраслевое объединение находится в зависимости от регуляторов, то вместо этого будет приходиться комфортная обратная связь. Мы, как инженеры, понимаем, к чему приводит отсутствие независимой обратной связи: система обычно теряет устойчивость.



**Чем больше участников ассоциации, тем больше наших собственных возможностей**



**ЦРБТ:**  
**Ассоциация Разработчиков и Производителей Электроники исполнилось 5 лет. Какие результаты Вы хотели бы отметить как самые значимые?**

**И. П. :**  
 Самый значимый результат — это признание ассоциации компаниями отрасли: вначале нас было 5 компаний, сейчас — 105.

Соответствующим образом расширяется и влияние ассоциации: чем больше членов, тем больше наших собственных возможностей, потому что расширяется объем финансирования, штат ассоциации и каждый член пропорционально увеличению числа членов ассоциации получает больше отдачи. Более того, расширяется влияние ассоциации, поскольку все компании так или иначе взаимодействуют между собой, работают с заказчиками и с регуляторами, обмениваются с информацией.

Мы эти годы постоянно возвращались к разработке и переработке отраслевой стратегии. Я считаю, что важным результатом является также то, что все ключевые положения



той отраслевой стратегии, которые мы выработали, приняты в отрасли и прописаны в официальном документе, который был выпущен в 2019 году, — это поручение президента по развитию электронной отрасли. Тогда мы проводили серьезную работу с администрацией президента. И, действительно, после того как этот документ вышел, мы в работе с министерством постоянно возвращаемся к этим установкам как направляющим.

Ассоциация выполняет свое предназначение. Сложно оценить это как-то цифрами, показателями, но мы видим, как увеличивается число личных коммуникаций и уровень доверия между компаниями в отрасли, то есть отношения становятся лучше: из ситуации взаимного отчуждения мы приходим в ситуацию отраслевого сплочения, братства.

### **ЦРБТ:** **Какие цели Ассоциация ставит перед собой сейчас?**

**И. П. :**

Сейчас мы хотим запустить работу проектного офиса. Мы понимаем, что отраслям сейчас не хватает элементов планирования, не того советского административного планирования, а индикативного планирования, когда четко определены технологические, организационные, экономические разрывы или, как мы их называем, затыки, когда определены противоречия, которые сдерживают развитие. На данный момент мы разрабатываем решения по преодолению этих противоречий, оцениваем финансовые, кадровые и организационные ресурсы, которые необходимы для разрешения этих противоречий. Проработка таких индикативных планов — это дальнейшее развитие нашей работы по отраслевой стратегии. Стратегия — это доступный всем документ, имеющий общий характер.

Команда ассоциации будет состоять из двух частей по принципу работу: первая часть — это регулярная деятельность, которая включает информационное обеспечение членов, взаимодействие с регуляторами, с членами, а вторая — проектный офис, сотрудники которого сосредоточены на разработке индикативных планов по основным технологическим направлениям отрасли.

### **ЦРБТ:** **Как вы оцениваете российское образование в области микроэлектроники?**

**И. П. :**

Сложно однозначно ответить на этот вопрос, потому что все зависит даже не от вуза, а от конкретной кафедры, точнее даже от людей, которые возглавляют или преподают на этой кафедре. Если ее возглавляют люди, которые совмещают преподавательскую деятельность с работой в отрасли, участвуют в исследованиях и в проектах, и вовлекают в эту деятельность своих студентов, аспирантов и других преподавателей, то в этом случае все в порядке. Таких примеров много, но, к сожалению, много и других: когда преподавательская деятельность полностью оторвана от отрасли, преподаватели читают лекции, принимают экзамены очень формально. Будущего у такого подхода нет.

Вопрос скорее в том, как увеличить число первых и сократить число вторых. Мы обсуждали это много раз, и у нас есть инструменты для улучшения ситуации: *наша ассоциация проводит дни планирования карьеры в разных вузах*, где мы показываем как развивается отрасль, какие существуют возможности профессионального развития. Этим мы заинтересовываем не только студентов, но и преподавателей. У них открываются глаза на то, что происходит в отрасли и какие интересные возможности есть по сотрудничеству.

Конечно, хотелось бы прийти к той ситуации, когда ни один курсовой проект, не говоря уже о дипломной работе, не был бы реализован без участия компаний из отрасли. Здесь вопрос готовности не только вузов, но и компаний, потому что это требует определенного времени, человеческих ресурсов. Нам нужно вовлекать специалистов в преподавательскую деятельность, а вузам открываться для этой совместной работы. Другого выхода я не вижу.

### **ЦРБТ:** **На ваш взгляд, в каком состоянии сейчас находится отечественный рынок микроэлектроники по сравнению с рынком других стран?**

**И. П. :**

Правильнее здесь анализировать ситуацию не по группам продукции, а по технологическим переделам, независимо от того, что это — вычислительная техника, телекоммуникационное оборудование или промышленная электроника. Технологический передел связан с производством конечной продукции электронного оборудования, что значит монтаж компонентов печатной платы, операции по испытанию, по тестированию оборудования, по финальной сборке. Это все уже производится в России и нет никаких технологических барьеров. Скорее российским компаниям, чтобы преодолеть экономический барьер и выйти из низшего позиционирования при малых масштабах производства на ценовой конкурентный уровень, нужна поддержка государства: регуляторная и инвестиционная. Хотя в ряде случаев мы видим, что компании самостоятельно преодолевают этот разрыв.

Говоря о производстве конечной продукции в разработке электронного оборудования (разработка схемотехники, топологии печатных плат, встроенного программного обеспечения) российские компании находятся на вполне конкурентном уровне, более того, они могут занять доминирующее положение на российском рынке, успешно расширять экспорт. Здесь важен переход от мелкосерийного производства к массовому.

Что касается производства электронных компонентов, то здесь все гораздо сложнее. Проблема в том, что это наиболее инвестиционно емкое производство. Для развития микроэлектроники объем инвестиций, который требуется, существенно превосходит объем внутреннего рынка. То есть в производстве электронного оборудования объем внутреннего рынка исчисляется десятками миллиардов долларов, а входной инвестиционный барьер, чтобы начать запускать конкурентоспособное производство, составляет миллионы долларов.

В производстве компонентов ситуация обратная: у нас доступный для российских производителей микросхем рынок исчисляется сотнями миллионов долларов, а инвестиции требуются миллиарды долларов. То есть зарубежные компании, конкурирующие за этот рынок, ежегодно вкладывают миллиарды долларов в свое развитие, значит, на рынке в сотни миллионов невозможно развернуть бизнес, который отбивает инвестиции в миллиард. Это основное противоречие. Здесь мерами государственного регулирования рынка не обойтись. Рынок слишком мал для того, чтобы развернуть такое производство. Важно определиться с приоритетами, выбрать направления, на которых должны быть сконцентрированы как инвестиционные ресурсы компании и государства, так и меры регулирования. Важно обеспечить выход на конкурентный уровень в этих приоритетных направлениях, а во всех остальных направлениях необходимо будет использовать зарубежные компоненты.

Главная задача технологической стратегии — это выбор приоритетов направления, четкая формулировка приоритетных задач, концентрация ресурсов, диверсификация рисков. Пока, к сожалению, четких приоритетов не определено. На мой взгляд, это главная причина того, почему в области микроэлектроники мы не можем похвастаться большими успехами.

### **ЦРБТ:** **Что тормозит развитие электроники и микроэлектроники в России? А что способствует?**

**И. П. :**

*Фактор распыления тормозит развитие микроэлектроники в России.* Распыляя ресурсы по широкому кругу направлений, мы не в одном из них не достигаем конкурентного уровня, значит, фактически тратим ресурсы впустую, не



получая результатов и предпосылок для дальнейшего развития. Если мы вкладываемся в развитие, то необходимо это направление выводить на мировой уровень. Пусть это будет долго и дорого, но если мы отступили и не вытянули на конкурентный уровень, то эти деньги выброшены впустую.

Сейчас постепенно улучшается система поддержки частных компаний. В 2017-ом году, когда наша ассоциация только создавалась, преобладала ставка на госкорпорации, которая важна и нужна в специальных направлениях, как, например, военная техника. Но электроника, где бы она не использовалась: в гражданской или в военной сфере, — это технологии общего применения, которые будут использоваться везде.

*Для развития электроники важно сформировать конкурентную предпринимательскую среду*, чтобы частные компании могли проявить себя и развиваться. Я считаю, драйвером развития отрасли могут выступать только частные самостоятельные компании, поэтому необходимо полностью раскрыть потенциал предпринимательской технологической инициативы.

**ЦРБТ:**

**Каким вы видите будущее микроэлектроники: какие технологии и материалы будут применяться?**

**И. П.:**

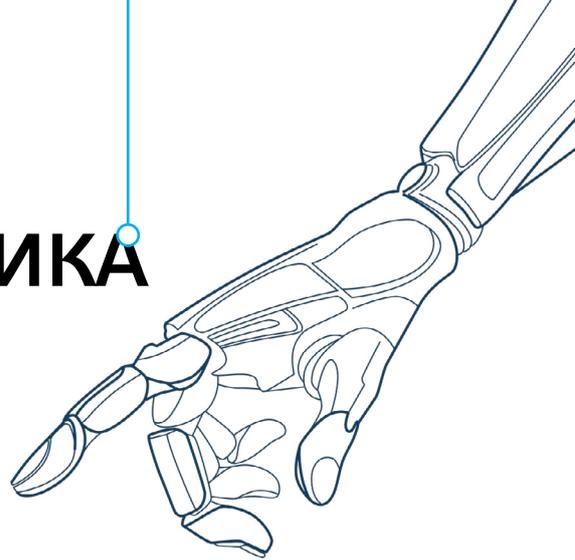
Мы продолжаем говорить об электронике как о быстро развивающейся новой отрасли, хотя статистика показывает, что пик этого развития пройден. Отрасль сформировалась,

и набор технологий, на который отрасль опирается, уже достаточно стабилен. Если посчитать количество технологических направлений в электронной промышленности, то их примерно 21. Я не предвижу здесь каких-то кардинальных изменений.

Основой информационной инфраструктуры будет кремний. Действительно, расширяется доля решений, которые опираются на технологии широкозонных полупроводников, где используются другие материалы. Это популярно в области силовой электроники, оптоэлектроники и СВЧ-радиоэлектроники. В этих направлениях будет расти доля не кремниевых полупроводниковых материалов, но эта доля никогда не сравняется с долей кремния.

Кстати говоря, ставка на технологии широкозонных полупроводников является одним из возможных приоритетов для России. Это очень логично и очень правильно в текущих условиях, потому что входной инвестиционный барьер в этих направлениях гораздо ниже, чем в традиционных кремниевых, особенно в цифровых полупроводниках. Будет увеличиваться доля оптических технологий в связи с повышением требований пропускной способности информационной инфраструктуры. Передача данных уже не справляется с требованиями, поэтому в оптике выгодно передавать данные на большие расстояния, в основном по магистральным сетям. Со временем оптические коммуникации будут использоваться в каждом изделии между чипами, возможно даже внутри чипа между IP-блоками. Это очень перспективное направление, но все-таки доминирующей основной останутся традиционные кремниевые технологии.

# ПРОСТАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА



Подобно тому, как электродвижущая сила перемещает заряженные частицы, наука – движущая сила прогресса – толкает человечество вперед. Передавая эстафетную палочку следующим поколениям ученых, Майкл Фарадей едва ли мог вообразить, что открытие электромагнитной индукции станет кэрроловским ключом к открытию двери в удивительный микромир электроники. В стремлении к уменьшению габаритов и повышению производительности и энергоэффективности человечество достигло настолько впечатляющих результатов, что сегодня речь идет уже о нанометровых размерах элементов и материалах сверхвысокой проводимости.

Говоря о микроэлектронике, сложно обойти вниманием закон Мура, характеризующий основной вектор развития микроэлектроники – миниатюризацию. Соучредитель корпорации Intel Гордон Эрл Мур в 1965 г. сформулировал и опубликовал проведенное им эмпирическое наблюдение, названное законом Мура, согласно которому количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной микросхемы (ИМС), удваивается каждые 12 месяцев. Предприниматель сделал такой вывод, опираясь на данные, полученные с 1959 по 1965 гг. – с момента изобретения интегральной схемы. Однако позже – в 1975 г. – Мур внес поправку в наблюдение – в скорректированном виде речь идет об удвоении количества транзисторов каждые 24 месяца. До 1975 г. тенденция роста была обоснована запросом рынка и энтузиазмом ученых, после – в действие также вступила сила самосбывающегося пророчества: «закон» был воспринят как план, которого нужно придерживаться. Это позволило закону Мура сохранять свою действенность долгие годы.

Так наблюдение одного человека способствовало стремительному прогрессу целой области. Однако сегодня работоспособность закона Мура вызывает ряд вопросов и противоречивых утверждений: одни специалисты утверждают, что он пока еще жив, другие – что он не вынес суровых требований законов физики и, столкнувшись с парадоксами квантового мира, умер, а, значит, сегодня заявленные достижения компаний-производителей являются не более чем уловкой маркетологов.

Таким образом, выделившись из полупроводниковой электроники (которая, в свою очередь, выделилась из электроники), микроэлектроника, в какой-то мере благодаря закону Мура, продолжала свое развитие. При этом в ходе развития науки компоненты электроники, а затем микроэлектроники, не изменяя свое функциональное предназначение, значительно изменялись в размерах, в конструктивном исполнении, а также повышали свою эффективность.

В статье описаны основные компоненты электроники и типы интегральных микросхем.



Количественную демонстрацию закона Мура можно понять по аналогии с притчей о шахматной доске и зернах

## ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

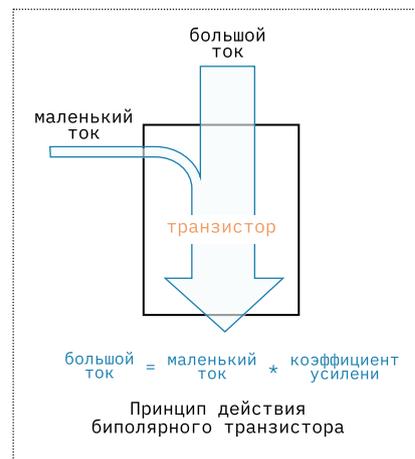
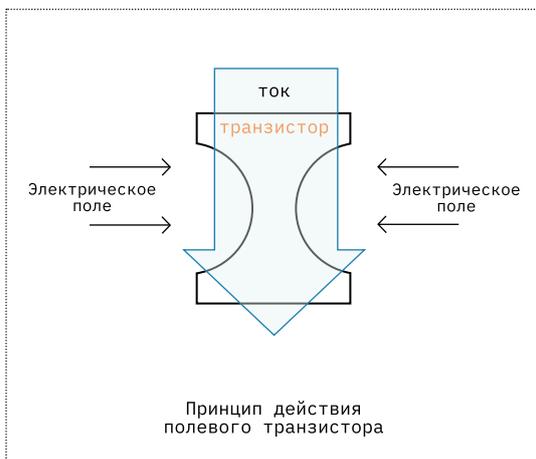
### ТРАНЗИСТОР

Сегодня в микроэлектронике применяется большинство элементов электроники, но в интегральном исполнении, то есть в микросхеме. **Элемент интегральной микросхемы** – это конструктивно неотделимая часть интегральной микросхемы, выполняющая конкретную функцию. Элементы ИМС не могут быть отделены от микросхемы как самостоятельные изделия: их нельзя испытывать, эксплуатировать, упаковывать изолированно от ИМС. **Компонент интегральной микросхемы** также выполняет функцию электронного элемента, но может быть выделен как самостоятельное изделие. Сложные компоненты содержат несколько элементов.

Элементы бывают активными и пассивными. Активные элементы способны усиливать и преобразовывать электрические сигналы (например, транзисторы). Пассивные – предназначены для перераспределения электрической энергии (например, резисторы и конденсаторы).

**Транзистор** – это полупроводниковый прибор, который позволяет с помощью слабого сигнала управлять более сильным. Транзисторы предназначены для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов. Транзистор является основным элементом ИМС, так как его можно использовать в качестве ключа, диода, переменного резистора, реле, усилителя, стабилитрона и других элементов, что существенно облегчает производство интегральных микросхем. Существует два вида транзисторов: биполярный и полевой.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТРАНЗИСТОРОВ



Принцип работы транзистора часто наглядно демонстрируется на примере вентиля водопроводного крана. Подобно тому, как в обычном водопроводном кране регулируется напор воды при помощи вентиля или шарового механизма, в биполярном транзисторе регулируется сила тока при помощи слабого управляющего тока (тока базы), а в полевом транзисторе сила тока регулируется при помощи напряжения электрического поля (напряжения, приложенного к затвору). Такое сравнение условно и не отображает физику процесса, однако хорошо способствует его пониманию.

Физическая же составляющая заключается в использовании свойств кристаллов. Вне зависимости от вида, транзистор содержит монокристалл из полупроводникового материала: чаще всего используется кремний, реже – германий, арсенид галлия, нитрид галлия и другие. Выбор полупроводника обусловлен его характеристиками – в вышеперечисленных материалах необходимые для управления током свойства наиболее подходящие.

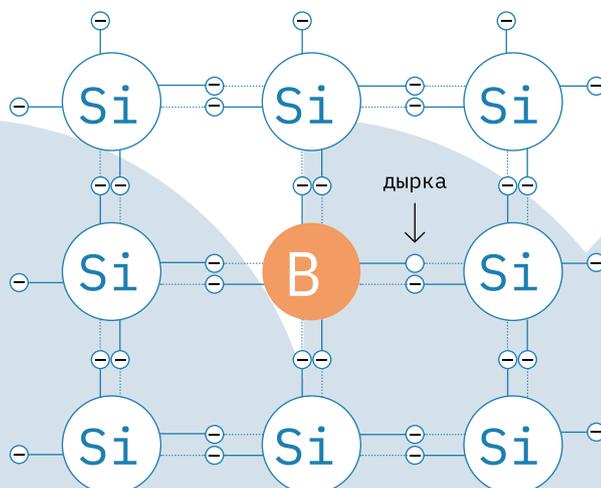
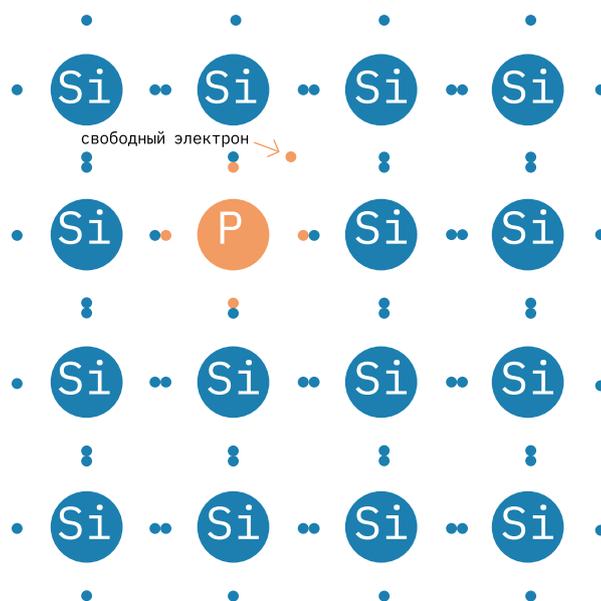


Кристаллы полупроводников характеризуются шириной запрещенной зоны (электрон в ней находиться не может), которая располагается между зоной проводимости (из этой зоны электроны могут двигаться от одного атома к другому) и валентной зоной (разрешенная зона, в которой находятся валентные электроны). Чем шире запрещенная зона, тем меньше проводимость кристалла. (У проводников запрещенная зона отсутствует, а у диэлектриков – значительно шире, чем у полупроводников.) Для перехода электрона из валентной зоны в зону проводимости необходимо сообщить электрону энергию, величина которой позволит ему преодолеть ширину запрещенной зоны.

Для того, чтобы изменить электрические свойства полупроводника (в частности, изменить тип его проводимости), в него вводят примеси. Этот процесс называется легированием.

Например, кремний в соединениях обычно проявляет себя как четырехвалентный элемент. Это значит, что в валентной зоне атома кремния четыре валентных электрона. Это также значит, что в кристаллической решетке кремния атом кремния чаще всего связан с четырьмя соседними атомами. Если добавить в кремний атомы пятивалентного фосфора, то он тоже будет связан с четырьмя соседними атомами кремния, но при этом один его электрон останется свободным – такие полупроводники называют полупроводниками n-типа (от слова «negative»), поскольку свободный носитель заряда (электрон) отрицательно заряжен. Таким образом, чем больше концентрация свободных носителей зарядов, тем больше электропроводность. Если же добавить в кремний атомы трехвалентного бора, то на месте одного электрона остается дырка – такие полупроводники называют полупроводниками p-типа (от слова «positive»).

В случае соединения полупроводников p-типа и n-типа в месте их контакта возникает p-n переход, который действует как барьер, не допуская поток электрического тока через себя без внешнего напряжения, и пропускает ток в одном направлении при подаче прямого напряжения. Благодаря таким хитрым приемам становится возможной работа биполярных pnp-транзисторов и prp-транзисторов, полевых транзисторов с p-n переходом и других приборов. Основное применение ИМС с множеством транзисторов нашли в цифровых устройствах. В цифровых интегральных микросхемах транзисторы играют ведущую роль, поскольку именно они чаще всего используются в логических элементах (устройствах для обработки информации в цифровой форме: конъюнкторах, дизъюнкторах, инверторах) для выполнения логических операций (И, ИЛИ, НЕ). Массивы логических элементов выполняют заданные функции: количеством элементов определяется количество выполняемых операций, скорость обработки данных, сложность функции и быстрота ее выполнения. Из логических элементов строятся все цифровые устройства: компьютеры, сотовые телефоны, цифровые фотоаппараты, цифровые телевизоры и многое другое.



В направленном свете вышеизложенного становится видно, почему увеличение количества транзисторов в микросхеме имеет настолько важное значение в микроэлектронике – чем больше транзисторов (сегодня речь идет о миллионах транзисторов на одной микросхеме), тем больше производительность работы цифрового устройства.

В основе конструкции интегральной микросхемы лежит транзисторная структура, поскольку транзистор является в ней наиболее сложным и в то же время универсальным элементом. Остальные активные и пассивные элементы изготавливаются таким образом, чтобы совмещаться с этой структурой.



# ПРИМЕРЫ ТРАНЗИСТОРОВ





**Диод** – полупроводниковый прибор с одним рп-переходом, пропускающий электрический ток только в одну сторону. Принцип работы диода часто объясняется на примере обратного клапана воды, предотвращающего движение потока в обратную сторону и поддерживающего необходимый напор в системе.

В интегральных микросхемах диоды в основном используются для выпрямления электрического тока, детектирования сигналов, переключения и защиты от перегрузки. В биполярных микросхемах диоды часто получают путем диодного включения транзисторов.

## ПРИМЕРЫ ДИОДОВ

### ДИОД ШОТТКИ

полупроводниковый диод с малым падением напряжения при прямом пропускании тока, в котором используется переход металл-полупроводник (барьер Шоттки)

### СТАБИЛИТРОН

диод Зенера – полупроводниковый диод, функционирующий при обратном смещении в режиме пробоя, то есть ток (кроме незначительных токов утечки) не будет проходить через стабилитрон до тех пор, пока величина напряжения не станет выше заданной величины, на которую рассчитан стабилитрон

**Резистор** – пассивный элемент, обладающий постоянным или переменным значением электрического сопротивления. Если вернуться к аналогии с водопроводными системами, сила электрического тока при прохождении тока через резистор уменьшается, также как уменьшается напор воды при прохождении через суженный участок водопроводного шланга (например, если на него наступить или положить кирпич).

Резисторы, в том числе и интегральные, применяют, как следует из определения, для ограничения тока или напряжения (например, чтобы подключенное к схеме устройство не вышло из строя), а также для перераспределения электрической энергии. Интегральные резисторы занимают много места на кристалле вследствие низкого удельного сопротивления полупроводниковых слоев, на основе которых они изготавливаются в биполярных микросхемах, поэтому производители стремятся сократить их количество в схеме.

Как правило, цифровые микросхемы содержат меньше резисторов, чем аналоговые. Во многих цифровых микросхемах резисторы не используются вообще – функцию резистора могут выполнять полевые транзисторы.

**Катушка индуктивности** – пассивный элемент, представляющий собой катушку из изолированного проводника, основным предназначением которого является сохранение энергии в магнитном поле. Согласно методу электрогидравлических аналогий катушку индуктивности можно представить в виде тяжелого маховика с лопастями.

Вода попадает на лопасть маховика, стремясь повернуть его – чем больше воды, тем больше приложенное к лопасти усилие. В какой-то момент лопасть под весом воды сдвигается и маховик начинает медленно вращаться. Вода продолжает прибывать – маховик ускоряется и достигает своей предельной скорости. В момент, когда поток воды прекращается или даже меняет свое направление, маховик все еще продолжает свое вращение по инерции.

В момент, когда вода попадает на маховик, в системе есть давление, но потоку воды требуется время для преодоления инертности маховика – таким же образом, в электрической цепи с катушкой индуктивности напряжение появляется мгновенно, но току нужно время, чтобы преодолеть инертность катушки. Кроме того, катушка, подобно маховику, обладает инерционностью, поэтому говорят, что она сопротивляется переменному току.

Благодаря этим свойствам, катушка индуктивности используется для подавления помех, создания магнитного поля, сглаживания пульсаций, накопления энергии, ограничения переменного тока, создания элементов задержки сигналов и запоминающих элементов, создания фильтров частоты, в резонансных цепях и другое.

Интегральные катушки индуктивности изготавливают путем напыления проводящих спиралей на подложку и используют в некоторых аналоговых схемах, работающих на высоких частотах. Из-за сложности их изготовления, большой площади и возможности заменить их другими элементами в цифровой микроэлектронике они применяются крайне редко.

### ВАРИКАП

полупроводниковый диод, работа которого основана на зависимости барьерной емкости рп-перехода от обратного напряжения, то есть он изменяет свою емкость пропорционально величине приложенного обратного напряжения

### СВЕТОДИОД

полупроводниковый диод, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении

### ФОТОДИОД

приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов в рп-переходе

### ДИОД ГАННА

полупроводниковый прибор, принцип работы которого основан на использовании объемных свойств полупроводника; используется для генерации и преобразования сверхвысокочастотных электрических колебаний; не содержит рп-переходы; выпрямляющими свойствами не обладает

## ПРИМЕРЫ РЕЗИСТОРОВ

### ВАРИСТОР

полупроводниковый резистор, способный нелинейно изменять свое активное сопротивление в зависимости от величины приложенного к нему напряжения

### ТЕНЗОРЕЗИСТОР

резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от действующей на него деформации

### ТЕРМИСТОР

полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от его температуры

### ФОТОРЕЗИСТОР

полупроводниковый резистор, у которого меняется сопротивление в зависимости от действия света на его светочувствительную поверхность

### РЕОСТАТ

переменный резистор, электрическое сопротивление которого между его подвижным контактом и выводами резистивного элемента можно изменять механическим способом

**Конденсатор** – пассивный емкостной элемент, который способен накапливать электрический заряд. Гидравлическим аналогом конденсатора является гибкая растяжимая мембрана, перекрывающая трубу – в ответ на давление воды мембрана начинает растягиваться, что аналогично заряду конденсатора, а возвращение мембраны к первоначальному состоянию соотносимо аналогично его разряду.

Следует отметить, что ни одна подобная аналогия не является полной, но служит метафорой к реальным процессам. Так, аналогия с мембраной становится несостоятельной при попытках объяснить с ее помощью работу конденсатора в схемах и поэтому часто критикуется.

В микроэлектронике интегральные конденсаторы реализуются путем нанесения проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком. Интегральные конденсаторы находят свое применение в основном для накопления энергии, сглаживания пульсаций, блокировки постоянной составляющей тока, создания фильтров частоты, в резонансных цепях и так далее.

Однако обеспечение достаточно высокого значения емкости конденсатора предполагает его большую площадь, поэтому полупроводниковые микросхемы довольно редко содержат конденсаторы. На практике в качестве конденсаторов малой емкости часто используют другие элементы, например, варикапы или транзисторы. Если же требуется большая емкость, применяют внешние конденсаторы.

**Разнообразие элементной гаммы таит в себе неисчисляемое множество оттенков – перечислить все существующие элементы представляет довольно сложной задачей. Сегодня, по сути, баллом правит транзистор, способный заменить едва ли не любой другой элемент, однако на практике такая замена не всегда целесообразна. Так или иначе, думать об элементном наполнении микросхем профессионально приходится очень ограниченному кругу лиц – остальные мыслят более широкими мазками: какую микросхему использовать в том или ином устройстве. Так что же представляет собой микросхема?**

## Интегральные микросхемы и их классификация

**ИМС** – это микроэлектронное изделие, предназначенное для выполнения заданной функции и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов и/или компонентов, выполненных на единой несущей конструкции (подложке). В современном мире микросхемы используются едва ли не повсюду. Почти в каждом доме количество устройств на микросхемах может превышать десятки, а то и сотни – они содержатся в телевизорах, компьютерах, телефонах, роботах-пылесосах, умных часах, утюгах, холодильниках и во многих других устройствах.

### Классификация ИМС по виду обрабатываемого сигнала

#### АНАЛОГОВЫЕ

##### Описание

Входные и выходные сигналы изменяются по закону непрерывной функции. Входные и выходные электрические сигналы могут иметь любые значения в заданном диапазоне напряжений.

##### Применение

Преобразование и/или обработка сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции: усилители колебаний различных частот, преобразователи, операционные усилители. Их используют в блоках питания (стабилизаторы напряжения), видеокамерах и фотоаппаратах (ПЗС-матрицы), аппаратуре звукоусиления (усилители звуковой частоты), в измерительных приборах (датчики) и др.

#### ЦИФРОВЫЕ

##### Описание

Входные и выходные сигналы могут иметь два значения: логический ноль или логическая единица.

##### Применение

Преобразование и обработка сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции (логические элементы, счетчики, шифраторы, компараторы, сумматоры, ключи и др.). Их применяют в устройствах обработки дискретной информации электронно-вычислительных машин (ЭВМ), системах автоматики и др.

#### АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ

##### Описание

Совмещают в себе формы цифровой и аналоговой обработки сигналов.

##### Применение

Преобразование сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции, в сигналы, изменяющиеся по закону непрерывной функции, и наоборот (цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи, модуляторы и демодуляторы, коммутаторы, приемопередатчики и др.).

Цифровые схемы вытесняют аналоговые повсеместно: на сегодняшний день почти все звуковые устройства являются цифровыми; телевидение – цифровое; обработка сигналов давно стала цифровой. Это связано с развитием возможностей цифровых схем: повышается их быстродействие и динамический диапазон, а гибкость и возможности обработки сигналов у цифровых схем выше по умолчанию.

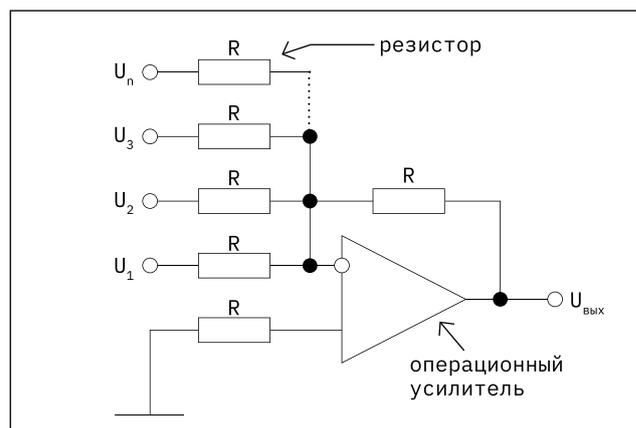
Однако, поскольку мы живем в аналоговом мире, воспринимать сигналы окружающего мира могут лишь аналоговые сенсорные устройства, после чего становится возможным преобразовать такие сигналы в цифровые. Кроме того, зачастую возникает необходимость в усилении сигналов датчиков с помощью аналоговых усилителей либо в фильтрации сигнала от помех с помощью аналоговых фильтров. Аналоговая техника используется везде, где нужен мощный выходной сигнал, поскольку цифровые сигналы являются маломощными. Схемы питания цифровой техники тоже по-прежнему остаются аналоговыми.

В диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) применение цифровой техники также затруднительно, а иногда и невозможно, вследствие недостаточного быстродействия аналого-цифровых преобразователей (АЦП). При этом оцифровывать нижние границы СВЧ-диапазона уже научились, но для более высоких частот все еще используется аналоговая техника.

Тем не менее, чаще всего преимущества цифровых схем перед аналоговыми определяют их все более широкое и частое применение. Целесообразность предпочтения цифровых схем (в случае возможности замещения ими аналоговых) хорошо демонстрируется путем сравнения цифровой и аналоговой схем сумматора. Сумматор представляет собой устройство, выполняющее арифметическое сложение – основную

элементарную операцию над кодами чисел в цифровых устройствах, к которой сводятся все другие операции.

В качестве примера представлена аналоговая схема простого инвертирующего сумматора, где выходное напряжение по модулю равно сумме входных:  $U_{\text{Вых}} = -(U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n)$ . Схема состоит из резисторов и операционного усилителя, который, в свою очередь, состоит из нескольких транзисторов, резисторов и конденсаторов:



Также ниже представлена цифровая схема сумматора, состоящая из двух блоков: аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и процессор. При этом АЦП и процессор являются сложными устройствами, которые могут включать в себя десятки тысяч элементов и более (транзисторов, резисторов и конденсаторов):



Понятно, что аналоговая схема намного проще, в ней значительно меньше элементов, а значит она существенно меньше стоит и быстрее работает. Однако цифровая схема намного более универсальна и многофункциональна. Аналоговый сумматор на верхней схеме может только суммировать, его не заставить работать иначе, а цифровой сумматор, если задать другую управляющую программу, может выполнить любую другую обработку входных сигналов  $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ : может их перемножить, интегрировать, дифференцировать, найти спектры, сложным образом фильтровать сигналы, записать в память и так далее.

Кроме того, цифровые схемы потребляют меньше энергии и обладают более высокой помехоустойчивостью, а большое

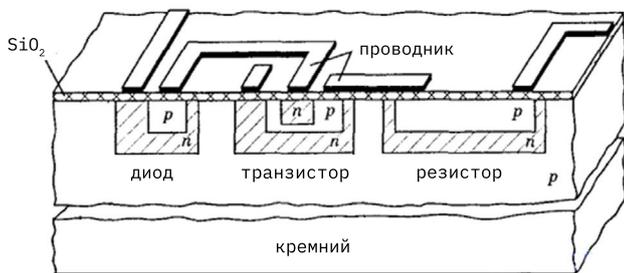
отличие сигналов высокого и низкого уровней и достаточно широкий интервал их допустимых изменений делает цифровую технику нечувствительной к неизбежному в интегральной технологии разбросу параметров элементов, то есть позволяет им работать с высокой точностью.

Следовательно, если речь идет о простой схеме и об элементарной обработке сигналов, то можно и нужно использовать аналоговую схему. Однако в современных условиях техника выполняет тысячи видов обработки сигналов. Поскольку схема даже из тысяч аналоговых сумматоров будет уступать по всем параметрам, кроме быстродействия, цифровой схеме из АЦП и процессора, предпочтение цифровой техники логично и обосновано.

## Классификация ИМС по технологии изготовления

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ	ПЛЁНОЧНАЯ	ГИБРИДНАЯ	СОВМЕЩЕННАЯ
<ul style="list-style-type: none"> <li>Все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом кристалле (например, кремния, германия, арсенида галлия). Эти ИМС составляют основу современной микроэлектроники.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Все элементы и межэлементные соединения выполнены в виде разного рода плёнок. Содержит только пассивные элементы. В зависимости от способа нанесения плёнок и связанной с этим их толщиной различают:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>Толстопленочные;</li> <li>Тонкопленочные.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Представляет собой комбинацию плёночных элементов и активных компонентов, расположенных на общей диэлектрической подложке. Получается путем дополнения плёночной ИМС навесными активными элементами/компонентами.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Комбинированная интегральная полупроводниковая микросхема, в которой некоторые элементы (обычно пассивные) наносят на поверхность пластины (кристалла) методами плёночной технологии.</li> </ul>

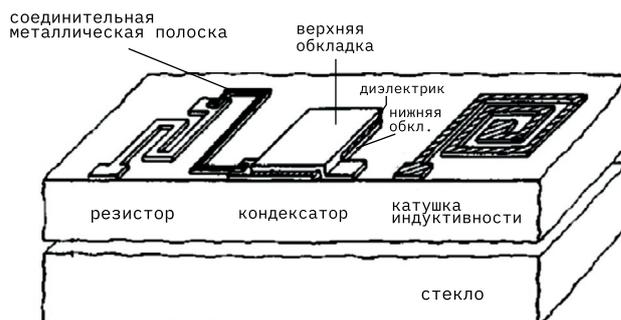
В большинстве современных устройств применяются **полупроводниковые ИМС**. Кристаллом в таких ИМС чаще всего служит монокристаллический кремний. Кремниевую пластину легируют, то есть вводят в ее приповерхностный слой (5-10 мкм) донорные и акцепторные примеси, получая, соответственно, полупроводники n- и p-типа, то есть слои с разным типом проводимости и pn-переходы на границах этих слоев:



Отдельные слои и различные комбинации участков с легированием и без него позволяют сформировать активные и пассивные элементы: диоды, транзисторы, резисторы. В качестве конденсаторов часто используют емкости диодов, то есть барьерные емкости pn-переходов, смещенных в обратном направлении (минус внешнего источника подключается к p-области, а плюс – к n-области), однако емкости таких конденсаторов относительно небольшие. Катушки индуктивности в полупроводниковых ИМС не используются – вместо них часто применяют специальные схемы на транзисторах. Если же катушки индуктивности (или трансформатор, который состоит, как правило, из двух и более катушек) принципиально необходимы, их приходится использовать в виде навесных компонентов, однако такая микросхема уже не подходит под определение полупроводниковой.

Широкое применение полупроводниковых ИМС обусловлено целым рядом их достоинств, таких как надежность, малые габаритные размеры, хорошие эксплуатационные характеристики. Однако производство полупроводниковых ИМС оказывается целесообразным лишь в крупносерийном и массовом производстве, когда становятся экономически оправданными значительные затраты на подготовку производства. Кроме того, такие схемы имеют свои недостатки: температурные ограничения, невозможность реализации конденсаторов с достаточно большими емкостями, ухудшение характеристик при высоких частотах из-за наличия паразитных емкостей, ограничения по напряжению, сложности при изготовлении катушек индуктивности и др.

В условиях же мелкосерийного производства гораздо более рационально изготовление микросхем по другим технологиям. Наименее затратной в таком случае будет **плёночная микросхема**, элементы и межэлементные соединения которой выполнены в виде разного рода плёнок, нанесенных на поверхность диэлектрической подложки:



В свою очередь, пленочные ИМС в зависимости от способа нанесения пленок и связанной с этим их толщиной подразделяются на тонкопленочные и толстопленочные. Технологический процесс изготовления толстопленочных интегральных микросхем более простой, чем – тонкопленочных. Для получения сравнительно несложных схем в ряде устройств использование толстопленочной технологии наиболее оправданно с экономической точки зрения. При этом тонкопленочные ИМС обеспечивают возможность достижения более высоких разрешающей способности, точности и стабильности элементов схем. Пленочные ИМС содержат только пассивные элементы (то есть резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и др.), поскольку получать активные элементы путем комбинации различных пленок пока не удалось. Поэтому использование таких микросхем крайне ограничено. Чтобы сохранить преимущества пленочных технологий и преодолеть их ограничения, пленочные ИМС дополняют навесными активными и (реже) пассивными компонентами – такие микросхемы называются гибридными. Так как основу этих ИМС составляют пленочные, гибридные микросхемы также подразделяются на толстопленочные и тонкопленочные со всеми вытекающими. Применение гибридных

микросхем в ряде случаев может быть оправдано благодаря простоте их изготовления, однако наличие навесных компонентов естественным образом понижает плотность упаковки и увеличивает стоимость ИМС. Другим вариантом компенсации некоторых недостатков, имеющихся у пленочных и полупроводниковых микросхем, является совмещенная технология. Совмещенной называется такая ИМС, конструктивной основой которой является полупроводниковый кристалл (как у полупроводниковой ИС). При этом активные элементы формируются в приповерхностном слое этого кристалла, а пассивные элементы нанесены в виде пленок на его предварительно изолированную поверхность. Такие ИС имеют больший диапазон номинальных значений и более высокую стабильность пассивных элементов. Но увеличение числа технологических операций и нарушение единства технологического цикла влекут за собой их удорожание. Таким образом, несмотря на существование заметных предпочтений производителей в сторону полупроводниковых схем, выбор технологии изготовления обосновывается целым рядом факторов, таких как функциональное назначение микросхемы, стоимость, величина серии, требование к габаритным размерам.

## Классификация ИМС по степени интеграции

Другим немаловажным фактором, который неизбежно учитывается при производстве, является степень интеграции микросхем. В зависимости от степени интеграции ИМС бывают малыми, средними, большими, сверхбольшими. Ранее использовались понятия «ультрабольшая ИС» и «гигабольшая ИС», однако сейчас эти понятия устарели и используются редко – при этом все микросхемы, степень интеграции которых выше большой, относят к сверхбольшим.

Такая классификация ИС по степени интеграции довольно условна – открытые источники несколько противоречат друг другу, что особенно усугубляется при поиске информации в иностранных источниках. Гораздо более интуитивно понятно, когда речь идет о микросхемах первой, второй, ..., n-ной степенях интеграции. При этом микросхема n-ной степени интеграции – это микросхема, содержащая от  $(1+10^{n-1})$  до  $10^n$  элементов включительно: то есть, например, микросхема третьей степени интеграции содержит от 101 до 1000 элементов.

Перечень классификаций микросхем не исчерпывается перечисленными и может быть продолжен. По мере развития микроэлектроники этот перечень может расширяться и дополняться.

## ПРЕДЕЛЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Развитие микроэлектроники тесным образом связано с микроминиатюризацией, позволяющей снизить энергопотребление, повысить быстродействие и расширить функциональные возможности как отдельных электронных приборов, так и сконструированных на их основе устройств. Для этого необходима совместная работа специалистов в разных отраслях: ученых-материаловедов и химиков, математиков, компьютерных инженеров, физиков, а также специалистов, связь которых с микроэлектроникой на сегодняшний день может казаться не такой очевидной.

Так, например, с точки зрения материаловедения, рывком в развитии отрасли могло бы стать использование в ИМС двумерных материалов, таких как графен, который обладает высокими значениями электропроводности, теплопроводности и прочности, но, как и все двумерные материалы, является нестабильным.

Технологические ограничения продолжают решаться путем увеличения плотности упаковки микросхемы за счет уменьшения габаритных размеров элементов, компонентов и расстояний между ними. Но очевидно, что каждый шаг в этом направлении дается намного сложнее и дороже предыдущего, и что такое уменьшение не может продолжаться бесконечно – рано или поздно характер ограничений преобразуется в схемотехнический.

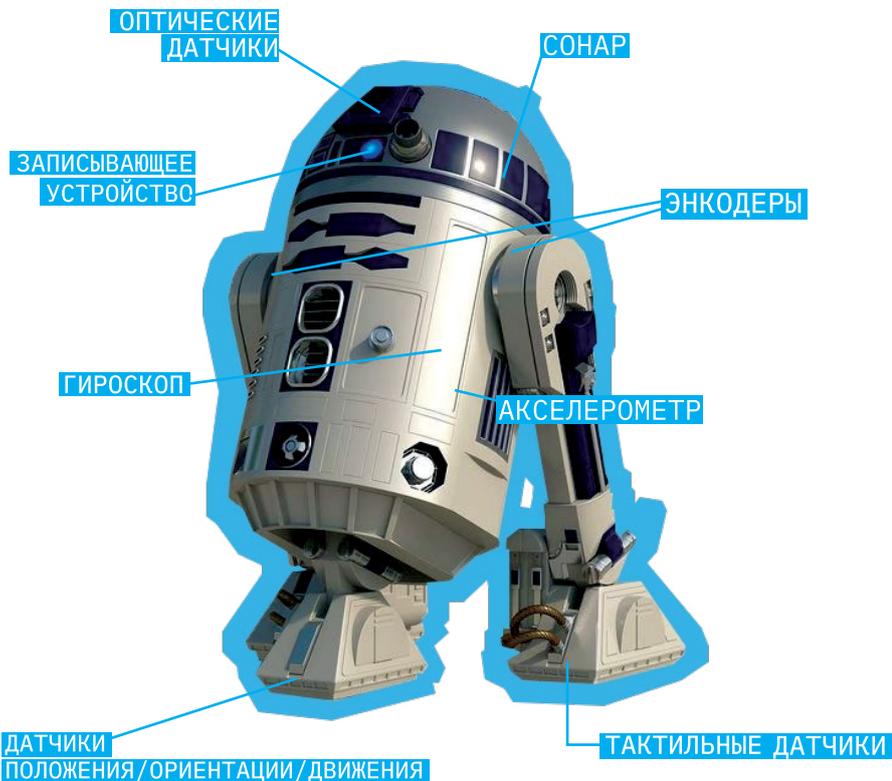
В свою очередь схемотехнические ограничения связаны с минимальными возможными габаритными размерами элементов и их частей.

Так, например, уменьшение транзистора на определенном этапе приводит к значительному возрастанию тока утечки, что, в свою очередь, влечет за собой существенные потери тока и избыточное тепловыделение – в результате этого управление состояниями транзистора становится невозможным.

Следует так же упомянуть такие ограничения, как аппаратно-технологические, связанные с разрешением используемой аппаратуры, а также ограничения используемого техпроцесса.

Разумеется, по мере развития технологии некоторые ограничения можно будет минимизировать, другие – обойти. Однако, какие бы инновационные решения не принимались, рано или поздно микроэлектроника неизбежно столкнется с необходимостью преодоления предельных физических ограничений, поскольку на пути уменьшения интегральных схем возникнет рубеж, за которым в силу вступят законы квантовой физики. Соответственно, существующие технологии, основанные на законах классической физики, не позволят решить эту проблему. А значит придется либо остановиться на достигнутом, либо использовать принципиально новые технологии. К счастью, уже сейчас ряд ученых по всему миру задействован в разработке квантового компьютера – есть основания полагать, что рано или поздно их усилия приведут к результатам, которые перевернут представления о всей современной науке. Но это уже совсем другая история...

# НА ГРАНИ ФАНТАСТИКИ: КАКИЕ ДАТЧИКИ ИСПОЛЬЗОВАЛИ БЫ РОБОТЫ ИЗ КИНЕМАТОГРАФА В РЕАЛЬНОЙ ЖИЗНИ



R2D2 (СЕРИЯ ФИЛЬМОВ «ЗВЕЗДНЫЕ ВОЙНЫ»)

R2-D2 — астромеханический дроид во вселенной «Звёздных войн». R2 является механиком космических кораблей и специалистом по взаимодействию с компьютерами и обладает множеством инструментальных приспособлений.

R2 имеет бочкообразную форму с вращающимся куполом, исполняющим роль его головы с одним глазом. Он имеет три подпорки для ходьбы, на каждой из которых установлено колесо. R2-D2 может общаться с окружающими через последовательности писков, свистков и трелей, которые могут быть переведены другим роботом. При подключении к системе R2-D2 также может общаться, печатая свои реплики на мониторе.

## ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ, ОРИЕНТАЦИИ И ДВИЖЕНИЯ

R2D2 может передвигаться самостоятельно, поэтому в нем должны быть установлены датчики, определяющие положение звеньев робота относительно друг друга, ориентацию робота в пространстве и ускорение, с которым робот движется. Для этих задач используются энкодеры, гироскопы и акселерометры.

Гироскоп — это датчик, реагирующий на изменение углов ориентации тела, что позволяет стабилизировать его положение в пространстве. Следует однако отметить, что в робототехнике используются МЭМС-гироскопы, которые правильнее называть гиротактометрами. Основой такого устройства служит вибрационный гироскоп, в котором роль вращающегося ротора играет своеобразный вибрирующий маятник.

Так как R2D2 является колесным роботом, он, вероятно, обладает датчиком угла поворота, или энкодером. Такой датчик может преобразовать вращение колёс в последовательность сигналов, которые позволяют роботу определить величину своего перемещения. В робототехнике часто применяется квадратурный инкрементный энкодер — принцип его работы заключается в том, что он выдает импульсы и, посчитав эти импульсы, определяет, насколько провернулся мотор. С помощью него R2D2 может позиционировать себя в пространстве. Энкодеры используются также для определения углов поворота частей робота относительно друг друга.

Другой способ определить количество оборотов и, как следствие, рассчитать пройденный путь, это тахометр — устройство для подсчёта

скорости вращения колес объекта. Это позволяет R2D2 определить линейную скорость передвигания и с помощью этой скорости вычислить пройденное расстояние.

Следующим встроенным датчиком для робота R2D2 является МЭМС-акселерометр. Строго говоря, это прибор, который позволяет измерять ускорение тела. Интегрируя показания акселерометра, можно посчитать скорость, с которой движется робот, и пройденный им путь. Также такой датчик позволяет роботу, к примеру, распознавать удар, так как удар по сути своей представляет собой внезапное изменение ускорения — то есть робот сможет распознать, например, столкновение с препятствием. Менее очевидной функцией акселерометра является функция измерения угла наклона (как правило, относительно вектора силы тяжести, конечно, там где есть тяжесть). Это также позволяет R2D2 определить свое положение в пространстве.

## ТАКТИЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ

Благодаря наличию тактильных датчиков, R2D2 может воспринимать информацию об окружающем мире на ощупь — именно они позволяют ему успешно взаимодействовать с различным оборудованием, ремонтом которого он занимается. Из тактильных датчиков он может использовать, например, датчики контактного давления, датчики касания, датчики проскальзывания, которые выполняют осязательную функцию и осуществляют геометрическое распознавание внешней среды при контактом взаимодействии с объектом. R2D2, являющийся астромехаником, в своей работе часто сталкивается с необходимостью выполнить действие, требующее физического усилия. Чтобы вкрутить

гайку или нажать кнопку, робот может проанализировать данные о стимуле, поступившие к нему из внешнего мира, и благодаря этому определить, с какой силой или до какой степени нужно осуществлять то или иное воздействие. Так, после битвы на Набу в эпизоде «Скрытая угроза» ему в срочном порядке пришлось осуществлять жизненно необходимый ремонт корабля после столкновения корабля с судами Торговой Федерации.

## СОНАР

Сонар, или ультразвуковой датчик, позволяет роботу определить расстояние до предметов, чтобы маневрировать. Для этого, он посылает ультразвуковую волну, затем улавливает ее отражение от объекта и, замерив время возвращения импульса, определяет расстояние до объекта. Именно этот датчик позволяет R2D2 передвигаться в пространстве, взаимодействуя с окружающими его предметами и людьми. На таком же принципе ориентируются в пространстве некоторые животные, например, летучие мыши или китообразные.

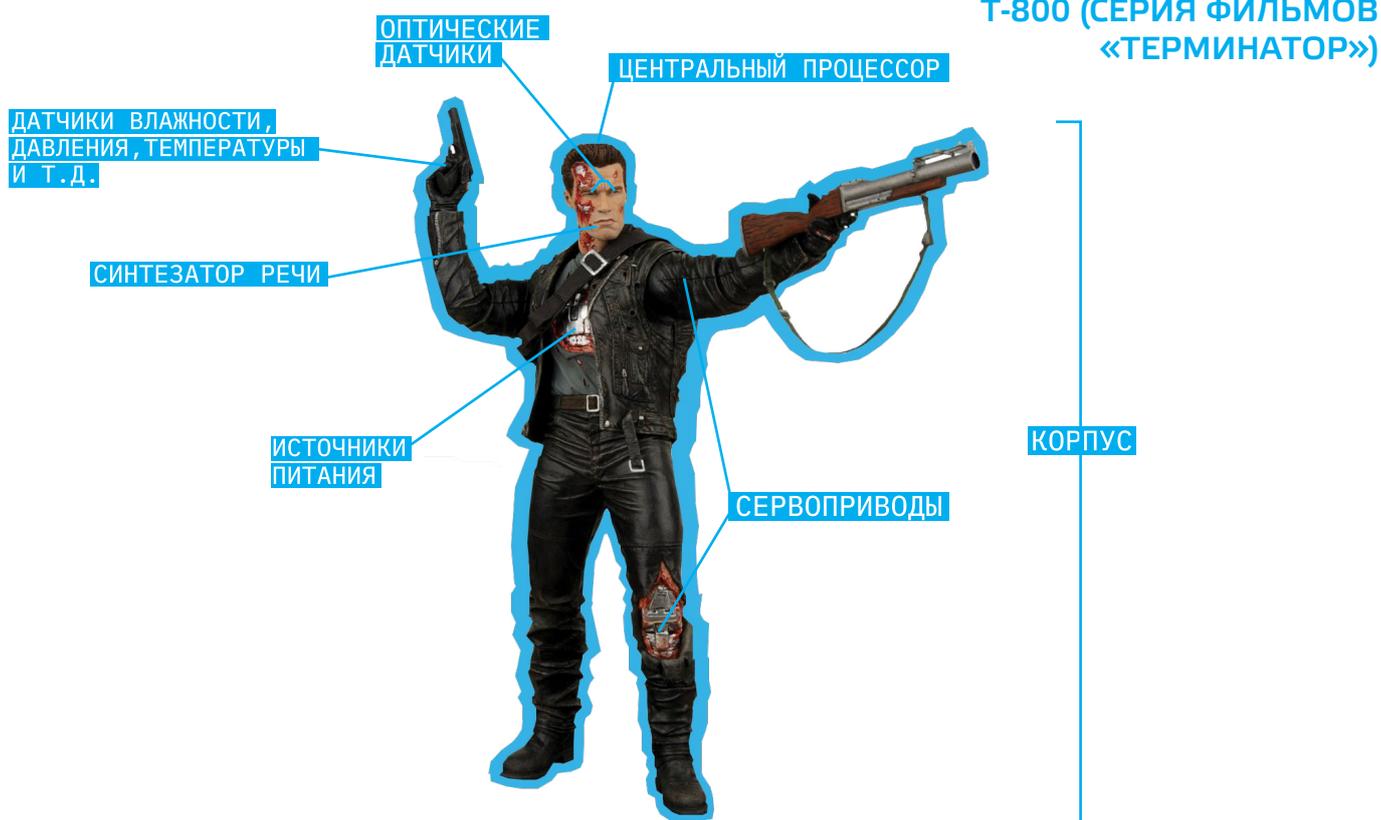
## ЗАПИСЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Важную роль как в существовании самого робота, так и в развитии сюжета играют записывающие сенсоры, например, микрофоны. Диктофон со встроенным микрофоном позволяет R2D2 записывать звуки окружающего его мира. Благодаря тому, что он был свидетелем множества разговоров между Падме, Энакином и Оби-Ваном, он смог записать их и впоследствии воспроизвести беседы детям Скайуокера и Амидалы — Люку и Лее. Такой функционал может быть возможен, например, благодаря МЭМС-микрофону, который отличается маленькими размерами и изготавливается аналогично технологии изготовления однокристалльных интегральных микросхем.

## ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Оптические датчики делают для R2D2 возможным зрительное восприятие окружающего мира. Простейшие датчики такого типа работают на основе фоторезисторов — устройств, изменяющих величину своего сопротивления при облучении светом. Датчик отражения, состоящий из двух частей (излучатель и приемник) позволяет роботу определить направление для дальнейшего движения или близость препятствия. Они могут работать не только в видимом диапазоне света, но и реагировать на инфракрасное или ультрафиолетовое излучение. Таким образом, робот может ориентироваться в темноте, точнее говоря, в нашем привычном ее восприятии, то есть в условиях отсутствия видимого света. Тем не менее, робот, чья зрительная система устроена совсем иначе, может воспринимать темноту также легко, как мы — залитое солнечным светом помещение, и не испытывать при этом никаких затруднений. Кроме того, теоретически R2D2 смог бы разглядеть даже предметы, покрытые веществом Vantablack. Нечто, покрытое таким веществом, представляется человеку не просто очень черным предметом, а ничем, отсутствием всего. Такой эффект достигается благодаря тому, что Vantablack поглощает 99,965% видимого света, что может представлять затруднения для зрительной системы человека, но не робота, обладающего расширенными возможностями восприятия окружающего пространства.

Более привычными для нас датчиками являются видеокамеры, которые, по сути, представляют собой глаза робота. На сегодняшний день видеокамеры стоят во многих роботах и имеют множество сфер применения — например, распознавание образов, обнаружение движения при осуществлении охранной деятельности, что и продемонстрировал R2D2 в эпизоде «Атака клонов», когда его приставляют к сенатору Амидале для охраны, используя его датчики вместо камер слежения. Также, возможно, именно благодаря этому датчику R2D2 реализует функционал встроенного сканера для определения жизни поблизости.



## T-800 (СЕРИЯ ФИЛЬМОВ «ТЕРМИНАТОР»)

**T-800 (Терминаторы)** — серия вымышленных роботов-терминаторов в цикле фильмов о Терминаторе. Основной представитель серии, фигурирующий в фильмах — модель 101. Серия была создана искусственным интеллектом, известным под названием Скайнет, для своих миссий. Терминатор

представляет из себя человекообразного киборга, имеющего роботизированный эндоскелет, который покрыт искусственно созданной тканью, имитирующей человеческую кожу. С целью максимальной имитации живого существа, Терминатор также может имитировать дыхание с помощью изменения объема грудной клетки.

## ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПРОЦЕССОР

Робот управляется с помощью устройства «Telepathic Communication Implant Cores», которое, по-видимому, представляет собой центральный процессор, расположенный у него в голове. Он может функционировать в двух режимах: стандартном и расширенном, а также может самообучаться. Тем не менее, расширенный режим отключается принудительно, если робот отправляется на задание самостоятельно, без контроля Скайет, во избежание проявления свободы воли. Также, вероятно, в процессор встроен радиомодем, который передает информацию на определенных частотах и позволяет Терминаторам общаться друг с другом и суперкомпьютером Скайнет. Например, в фильме «Терминатор-2: Судный день» благодаря этой связи T-800 понял, что T-1000 преследует его и Сару и Джона Конноров на вертолете.

## СИНТЕЗАТОР РЕЧИ

Часть микропроцессора, контролирующего поведение Терминатора, также может являться устройством по распознаванию и воспроизведению человеческой речи. Сначала робот производит первичную обработку звуковых сигналов, отделяя речь от окружающих шумов, затем анализирует полученную информацию, с помощью системы ИИ готовит соответствующую реакцию и воспроизводит ее голосовым движком. Голосовой тембр Терминатора очень широк и способен имитировать и мужские, и женские, и детские голоса: например, в фильме он разговаривал голосом офицера полиции и матери Сары. Однако самая узнаваемая фраза из фильма – культовая цитата 'I'll be back' – произнесена голосом «самого Терминатора», то есть актёра Арнольда Шварцнеггера.

Интересно, что слуховые датчики T-800 расположены максимально логично – на голове, там, где расположены уши у человека. Функции слуховых датчиков имеют некоторые различия в функционале: одно «ухо» записывает весь диапазон внешних звуков, а другое отфильтровывает сигналы с целью выделения конкретного. В современном мире, однако, такие решения могут выглядеть несколько устаревшими: так, например, количество необходимых датчиков можно увеличить, чтобы расположить их по всему корпусу робота для более точной работы.

## ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Зрение Терминатора работает за счет сенсоров с детекторами инфракрасного излучения, или тепловизорами, которые позволяют ему в любое время суток и в любых условиях освещенности регистрировать тепловое излучение, исходящее от живых существ. Вероятно, речь идет об оптопаре, или оптроне, то есть электронном приборе, состоящем из излучателя света и фотоприемника, связанных оптическим каналом и, как правило, объединённых в общем корпусе. В случае Терминатора оптрон состоит из излучателя красного цвета, который можно заметить в его глазах во время функционирования робота и видеокамеры, которая регистрирует картинку вокруг и передает ее на центральный микропроцессор для последующего анализа и обработки. Так как робот маскируется под человека, датчики расположены в соответствии с анатомическим положением и замаскированы органическими глазами. Оба «глаза» способны работать независимо друг от друга и одновременно отслеживать две различные цели, что может быть актуально во время выполнения боевых миссий.

Терминатор способен ориентироваться в пространстве, и вероятно, он использует один из датчиков-дальномеров, позволяющий ему замерять расстояние до окружающих его предметов. Таким датчиком может быть, например, LiDaR. LiDaR – это технология измерения расстояний путем излучения света с помощью лазера и замера времени возвращения этого отраженного света на приёмник.

Другими уникальными способностями являются, например, функция слежения за движением и распознавание лиц. Они обе достаточно распространены в современном мире – например, функция слежения за движением часто используют для более экономного расхода электроэнергии в местах общего пользования. Благодаря регистрации

изменения инфракрасного излучения от человека, такой датчик распознает присутствие и может включить свет, а затем отключить его через заданный промежуток времени. Что касается функции распознавания лиц, то здесь все несколько сложнее: она требует одновременной работы как компьютерного зрения, которое «находит» лицо, так и нейросетей, которые присваивают найденному объекту определенные характеристики и прогоняют его через базу данных, сравнивая с уже имеющимися образцами. Этим Терминатор воспользовался в первом фильме, когда искал Сару Коннор: сначала он «запомнил» ее лицо, увидев фото на документах, а затем с помощью вышеописанной технологии распознал Сару среди других посетителей в клубе, где она скрывалась.

## КОРПУС И ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Эндоскелет Терминатора состоит из металлического каркаса. Каркас приводится в действие сервоприводами, которые, в свою очередь, включают в себя определенные датчики – например, датчики обратной связи. Так как Терминатор представляет собой антропоморфное существо, которое должно имитировать человека и его поведение, насколько это возможно, он должен обладать большим количеством подобных датчиков, среди которых, в частности, могут быть уже упоминавшиеся ранее энкодеры, акселерометры и тахометры. Вышеупомянутые датчики также могли бы помочь Терминатору оценивать последствия физического контакта с окружающей средой: на вопрос Джона о том, испытывает ли он боль, Терминатор ответил, что его тело способно чувствовать повреждения, и именно это он определяет как боль.

Источником питания T-800 являются ядерные батарейки, вероятнее всего, это батарейки с бета-вольтаическим элементом. Они состоят из полупроводникового диода, на поверхность которого нанесен радиоактивный изотоп. Полупроводник, в роли которого, например, могут выступить искусственные алмазы, обладающие высокой энергетической проводимостью, позволяет преобразовать бета-частицы, выделяемые при распаде, в электрический ток. Срок службы такой батареи зависит от периода полураспада изотопа. До недавнего времени подобные источники энергии с плутониевым элементом питания использовались, например, в кардиостимуляторах. Также они осуществляют энергообеспечение некоторых космических аппаратов, например, Вояджер или Персеверанс.

## ПРОЧИЕ ДАТЧИКИ

Так как Терминатор является человекоподобным роботом, значительная часть его внутренних устройств направлена на то, чтобы получать информацию, которую человек воспринимает благодаря своим органам чувств. Однако за счет гораздо более продвинутых технологических возможностей, которые значительно превышают человеческие, данные, которые он получает из окружающей среды, гораздо более полные и содержат в себе больше информации. Благодаря некоторым из них он способен осуществлять действия, которые неподвластны человеку без дополнительного оборудования: например, брать анализ почвы, для чего могут использоваться такие устройства, как волоконно-оптические датчики, измеряющие температуру, плотность и влажность почвы. Такие датчики используют оптические волокна и дают преимущества в возможности дистанционного измерения, устойчивости к электромагнитным помехам, а также долговременной стабильности. Эти данные также помогают ему в ходе осуществления своих боевых миссий.

Несмотря на кажущуюся футуристичность, со многими подобными датчиками мы сталкиваемся ежедневно: например, в состав среднестатистического смартфона, помимо некоторых упоминавшихся выше, входят геомагнитный датчик, барометр, датчик гравитации. Барометр, например, может помочь устройству более точно определить свое расположение и высоту над уровнем моря, геомагнитный датчик – определить стороны света, то есть выполнить функцию компаса, а датчик гравитации – определить направление и силу тяжести благодаря функционалу акселерометра.

Материал подготовила:  
Лейсан Василова

### Учеными спроектирована компактная и энергоэффективная ячейка памяти для квантового компьютера

Компактная и энергоэффективная ячейка памяти для квантового компьютера, оперирующего не битами, а кубитами (если бит – это или 0, или 1, то кубит – это и 0, и 1), спроектирована учеными Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). В этой работе петербургским исследователям помогли коллеги из Северо-Кавказского федерального университета, Тегеранского филиала Исламского университета Азад из Ирана, Научно-технического университета им. Мавлана Бхашани из Бангладеша и канадского Университета Саскачевана.

Предложенную теоретическую модель авторы называют «новым компонентом памяти для вычислительной техники будущего». Модель умеет складывать и вычитать, требуя на проводимые операции меньшее количество ресурсов и будучи компактнее аналогов. При этом за счет оперирования кубитами быстродействие выполняемых операций повышается минимум в два раза. Концепцию, которая будет полезна для развития big data, ИИ, биотехнологий, квантовой химии и пр., уже протестировали на стандартном ПО для диагностики подобных моделей.

# ЮРИЙ ПАНЧУЛ



**Талантливым студентам России я бы посоветовал сфокусироваться на том, что им интересно, что их заводит, но при этом не забывать о реальной жизни**



---

Материал подготовила:  
Алина Винова

---

Юрий Панчул



Микроархитектор и проектировщик цифровых микросхем на уровне регистровых передач. Разработчик блоков микропроцессорных и графических ядер, а также сетевых микросхем. Организатор и соавтор образовательных проектов в области микроэлектроники.



Работал в компаниях MIPS Technologies, Imagination Technologies и Juniper Networks. Основал стартап C Level Design, который получил инвестиции от Intel Capital и был куплен Synopsys.

Делал образовательные проекты в сотрудничестве с Imagination Technologies, «Роснано» и Высшей школой экономики / МИЭМ. Организовывал школы проектирования электроники в МИЭТ и на выставке ChipEXPO в Сколково.

ЦРБТ:

**Перед приездом на работу в Калифорнию в 1991 году Вы изучали прикладную математику и программирование в Московском физико-техническом институте (МФТИ). Почему для развития своей карьеры вы выбрали именно США?**

Ю. П. :

То, чем я занимался в Москве, в частности в Физтехе, было довольно интересной деятельностью. Когда я еще был студентом, мне довелось участвовать в разработке C-компилятора для векторного суперкомпьютера «Электроника СС БИС», советской копии компьютера Cray-1. Я занимался этим с коллегами с базовой кафедры Института проблем кибернетики и даже делал доклад об этом на конференции МФТИ. Кроме того, тогда начались реформы: Горбачев разрешил частные и совместные предприятия, и я, будучи студентом, стал работать на совместном предприятии Steepler. Это было интересно, но я ощущал, что в то время СССР был изолирован от мира, и в этой области существовали определенные границы. В принципе я не планировал эмигрировать, так случайно получилось. Совместное предприятие АС, созданное специалистами из физтеха, в частности Рустемом Ахияровым, организовало мою командировку в Калифорнию. Я приехал сюда летом 1991 года, и через 5 дней случился путч: вышел на улицу и встретил другого русского, от которого узнал, что Горбачев арестован, а в СССР — переворот. В это время я прилетел в командировку в компанию Cognitive Technology, созданную эмигрантом из Харькова Ефимом Шукином в Калифорнии. Сейчас в ней работает много инженеров, но в то время это была маленькая компания в Калифорнии. Я решил остаться, и стал работать в Cognitive Technologies, тогда это было логичным решением. В России все эти совместные проекты только запускались, а в Штатах было больше интересных возможностей в техническом плане.



**Многие люди путают понятия «архитектура» и «микроархитектура», хотя это так же различно, как культура и физкультура**



ЦРБТ:

**Последние годы вы работаете в крупных электронных компаниях. Как проходит ваш рабочий день? Над какими интересными проектами вам довелось поработать?**

Ю. П. :

Я работаю над дизайном блока, то есть я — инженер, ответственный за проектирование одного из блоков в микросхеме. Среди микросхем, в разработке которых я участвовал за последнее время: продвинутые графические процессоры в смартфоне, магистральный маршрутизатор от Juniper Networks. Последнее — это чип

внутри «ящика» стоимостью шесть миллионов долларов (смеется). Он осуществляет интернет-соединение между городами. Чип, который в смартфоне, имеет низкое энергопотребление и отвечает за графику. А вот чип, который находится в маршрутизаторе, наоборот, потребляет очень много электроэнергии и стоит в большом устройстве.

С точки зрения инженера блоков, то, что я делал в этих чипах, очень схоже, то есть в обоих случаях я работаю в крупной инженерной группе, где есть отдел проектирования, отдел верификации, отдел физического проектирования и другие отделы. Кроме того, в каждой организации есть еще мини-команды, связанные конкретно с блоками. В каждом чипе около 30 блоков и для каждого из них есть своя мини-команда с ведущим разработчиком вроде меня, а также инженерами, которые тестируют блок, и инженерами, которые решают проблемы физического проектирования (размещения элементов блока на микросхеме).

Каждый цикл проектирования чипа занимает примерно от полутора до двух с половиной лет. Проект начинается с того, что в начале архитектор всего чипа прикидывает примерный план, дает задания архитекторам и микроархитекторам блоков.

Важно отметить, многие люди путают понятия «архитектура» и «микроархитектура», хотя это так же различно, как культура и физкультура. Архитектура — это то, как выглядит процессор с точки зрения программиста — система его команд. Микроархитектура — то, как процессор устроен внутри, какие там имеются стадии конвейера, как организованы вычислительные устройства.

Я проектировал микроархитектуру блока с нуля в предыдущей компании, используя информацию о блоке, выполнявшем такую же функцию в предыдущем чипе. В новой компании я работаю совместно с другими микроархитекторами и в основном занят реализацией и улучшением блоков. После того, как я сделал проект этого блока в форме микроархитектурных диаграмм и спецификаций, я пишу код на языке описания аппаратуры Verilog, который потом превращается в схему. В течение дня мне приходится писать код, отлаживать в симуляторе схему, потом проводить совещание внутри группы нашего блока и участвовать в других совещаниях на разных уровнях организации. Вот так выглядит моя деятельность.

Один из моих крупных проектов связан с автомобильной электроникой. Раньше я работал в процессорной компании MIPS, которую когда-то купила британская компания Imagination, известная тем, что они сделали графический процессор для раннего Apple iPhone. В MIPS я участвовал в разработке процессора, который, в частности, лицензирован компанией Mobileye (сейчас — часть компании Intel). Этот процессор используется в автомобильной электронике, то есть он ставится в устройство, которое наблюдает за дорогой: если по ней кто-нибудь идет, оно дает сигнал останавливаться. Это устройство от Mobileye использовали BMW, Volvo и другие компании.

## ЦРБТ:

**Вашим первым крупным проектом стал C Level Design, расскажите о нем подробнее. Был ли он создан полностью с нуля? В чем причина его успеха?**

Ю. П. :

Карьера многих студентов выглядит так: сначала работа в большой компании с целью получения опыта, затем собственный стартап.

Собственно, это относится и к моему стартапу C Level Design, который я запустил в 25 лет. До этого я работал в большой компании — Mentor Graphics — один из трех лидеров в области автоматизации проектирования микросхем. Там я выучил Verilog в 1995-1996 гг., и наша группа Mentor Graphics работала с Nokia и Ericsson, которые делали чипы для первых сотовых телефонов.

Был момент, когда сотовый телефон из экзотического устройства стал массовым. Если вы, например, посмотрите голливудский фильм “Wall Street”, там главный герой ходит по пляжу с таким здоровенным сотовым телефоном — “кирпичом”. В то время — в 80-е годы — это было устройство только для очень богатых. Сотовые телефоны стали устройствами для всех после революции, которую сотворили Nokia и Ericsson в начале 90-х годов.

В 1996 году я работал в Mentor Graphics именно с проектировщиками этих сотовых телефонов, которые использовали нашу программу автоматизации. Как-то **маркетер** из Mentor Graphics Рассел Клайн сказал мне: «Юрий, если вы придумаете, как сделать средства для высокоуровневого описания микросхем с алгоритмами на C, то люди поставят вам золотую статую в Сан-Хосе, в самом крупном городе Кремниевой Долины».



Тут же я придумал способ, как это сделать, и сказал об этом Расселу. Он ответил: «То, что вы придумали, конечно, хорошо (кстати, моя идея была представлена позднее компанией Synopsys, но это у них не пошло), но на самом деле на рынке есть потребность сделать это неким другим способом». И я придумал способ, о котором он говорил. Так, моя идея стартапа возникла из абстрактной беседы с маркетером, который имел опыт работы с топовыми электронными компаниями уровня Ericsson и Nokia.

Многие молодые люди получают опыт в большой

компании, а после смотрят, чего хочет рынок, увольняются и создают стартап. Если вы это делаете в большой компании, то она имеет права на все, что вы делали. Поэтому инвесторы требуют, чтобы сначала человек уволился, и потом начинал что-то делать — в идеале через полгода-год после увольнения. Следующий шаг — разработка прототипа, который можно продемонстрировать инвесторам (в процессе важно документировать все, что вы делали).

Я тогда встретился с частным инвестором, с Дэнисом Колманом, — это человек, который был вице-президентом компании Symantec и в 1980 году написал первый **спеллчекер** для персональных компьютеров. На этом он стал мультимиллионером и стал вкладываться в стартапы. Дэнис мне сказал, что нужно уволиться из большой компании, создать стартап и прототип. Я это сделал, и Дэнис вложил в это сначала 50 тысяч долларов, а потом — еще 200 тысяч долларов.

В следующем 1997 году мы наняли бизнес-консультанта, который писал бизнес-план. Потом мы пошли к венчурному инвестору к Роберту Карру, партнеру венчурного фонда Sofinnova Ventures. Далее мы вышли на первую выставку, на которую пришли люди из японских компаний Hitachi и Fujitsu. Hitachi с помощью моего стартапа стали проектировать микроконтроллеры, а Fujitsu сначала прислали студента-практиканта, чтобы проверить, как это работает, потом купили лицензию для отделения, потом еще для двух отделений, затем — наш бизнес, который к тому времени стал называться C Level Design, вырос до 30 человек. К тому времени я не управлял этим процессом, а был просто инженером, то есть «Chief Scientist», который изнутри следил за базовым развитием этого инструмента. Intel вложил в нас еще семь миллионов долларов, тогда же велись переговоры о покупке компании Mentor Graphics.

Затем настал кризис, **пузырь доткомов** лопнул. Начали падать интернет-компании, потом компании, которые делали для них оборудование. И эта цепочка постепенно дошла до нас, у нас снизилось число заказов от таких компаний, как Nortel (им пришлось закрыть отделение). А потом случилось 11 сентября 2001 года, атака на небоскребы в Нью-Йорке. После этого рынок просто остановился: половина венчурных фондов вышли из бизнеса, было массовое падение стартапов. Тогда нам позвонили из большой компании в этой области — Synopsys — и предложили продать стартап за относительно небольшие деньги, что стало для нас выходом. Тем более, что в Synopsys уже пытались создать инструмент в этой области, но они не имели продаж, а у нас был реальный доход. После этого часть нашей группы

вошла в Synopsys, и я пару лет работал там.

## ЦРБТ:

**По вашим словам, в российском образовании есть существенные пробелы. В чем российские вузы отстают от зарубежных?**

Ю. П. :

В российском образовании много проблем, я не смогу описать их все, но скажу об одной конкретной проблеме, которая особенно очевидна для меня. Я прилетел в Россию в 2011 году спустя 20 лет после переезда в Америку,

**Маркетер** — неологизм для обозначения людей, которые занимаются практикой маркетинга, а не теорией.

**Спеллчекер** — компьютерная программа, осуществляющая проверку заданного текста на наличие в нём орфографических ошибок.

**Пузырь доткомов** — экономический пузырь, существовавший в период приблизительно с 1995 по 2001 год. Пузырь образовался в результате появления и взлёта акций большого количества интернет-компаний и переориентировки фирм на интернет-бизнес.

чтобы помочь коллегам из MIPS наладить контакты с российской компанией «ЭЛВИС-НеоТек» из Зеленограда, и заодно посетил российские вузы. Я обнаружил, что в них неадекватно составлен курс проектирования электроники в отличие от, например, MIT, Стэнфорда, Беркли и даже множества американских провинциальных вузов.

Дело в том, что в России из-за исторической случайности в эти курсы не было вовремя внедрено проектирование с использованием языка описания аппаратуры с синтезом, с лабораторными работами на Verilog и VHDL. Проблема в том, что эти технологии возникли в конце 80-х годов и внедрялись в компании в 90-е годы. Именно на основе этих технологий и были созданы айфоны и другая «гаджетная электроника». По сути своей, это большие интегральные схемы на основе маршрута RTL-to-GDSII. При использовании этого маршрута вы описываете схему на языке описания аппаратуры Verilog, после чего с помощью программного синтеза превращаете это в граф из логических элементов, затем другая программа раскладывает это по микросхеме. Этот способ проектирования микросхем распространился по многим американским компаниям. Интересно, что в этом процессе активно участвовали университеты, в частности, сооснователями компаний Synopsys, Cadence стали профессора из Беркли, Стэнфорда, и впоследствии они смогли внедрить это в свои университеты. Так, профессор Джон Хеннеси из Стэнфорда основал компанию MIPS, процессоры которой в 90-е годы стали основой для первых реалистичных игровых приставок, например, Sony PlayStation, Nintendo 64.

Это те профессора, которые с одной стороны работали в компаниях, делали программы для автоматизации проектирования гаджетов, разрабатывали игровые приставки, цифровые телевизоры, то есть занимались технологиями, которые в конечном итоге привели к созданию смартфонов и других подобных проектов. С другой — они же работали со студентами, писали учебники и читали курсы у себя в университетах.

В России это произошло не так.

В 2011 году я взял методичку, написанную в одном из ведущих вузов, и вот что я увидел: в этой методичке очень качественно и очень хорошо рассказывали о базовых элементах электроники типа элементов И, ИЛИ, мультиплексорах, D-триггерах. Потом очень качественно и очень хорошо рассказано о тайминге этих элементов, о том, что происходит в цикле. Это очень хорошо, но это было еще в начале 80-х годов. После этого пробел, то есть хоп — и ничего нет, а следующая глава уже о том, как программировать микроконтроллеры, то есть у них хорошо описаны транзисторы на нижнем уровне и использование окончатального устройства, но при этом пропущены минимум два уровня абстракции: отсутствует абстракция проектирования на уровне регистровых передач и абстракция с использованием языка описания аппаратуры. Это технологии, которые описывают, что происходит в схеме на каждом такте. У них нет всей связанной с этим «кухни», которая является первостепенной для создания не только этих гаджетов, но и микроконтроллеров для промышленной электроники, для роботов и для процессоров космических кораблей.

В российских вузах архитектура к 2011 году преподавалась адекватно: во многих вузах были курсы по описанию на ассемблере, студенты работали над проектами с микроконтроллерами. Проблема была с микроархитектурой. Этот уровень либо отсутствовал, либо был описан общими словами без привязки к лабораторным работам. В некоторых российских вузах, например, МИЭТ и ИТМО это появилось раньше, но вот, скажем, на ВМК МГУ это ввели только в 2015 году. В МФТИ даже на кафедре Intel курсы микроархитектуры были оторваны от лабораторных работ на VHDL.

Для американских университетов это стало таким же стандартным обыденным курсом, как курс общей химии. Если вы зайдете на сайт MIT, то увидите курс 6.1.1, где студенты делали проекты на ПЛИСах, производящих обработку звука или изображения еще с самого начала 2000-х годов. Можно зайти в архив работ и увидеть проекты 2003 года, которые по сути своей являются довольно зрелыми: например, мини-графический процессор, способный создать трехмерное изображение из треугольников.

Введение в базовую электронику строилось по следующей схеме: сначала логические элементы, потом Verilog или же VHDL на ПЛИСах, потом привязка к этому микроархитектурной организации процессора и связь с использованием готовых процессоров. Именно этим способом готовили студентов, которые шли в Apple или в Tesla и делали чипы для гаджетов, для инфраструктуры интернета и для других целей, то есть подготовка таких специалистов поставлена на поток.

В то же время как раз возникла идея перевести [учебник Харрисов](#) и выпустить другие материалы, чтобы заткнуть эту очень базовую и явную дыру, и мы это в принципе сделали.

**ЦРБТ:**  
**Расскажите про школу цифрового синтеза: как все начиналось и каких успехов вы смогли добиться?**

Ю. П. :

Это в принципе большая тема, помимо издания учебников. С чего это началось? Еще в 2014 году я стал работать над образовательным проектом, который назывался MIPSfpga в компании Imagination Technologies. Это проект, для работы над которым мы взяли промышленный процессор, который использовался, в частности, в микроконтроллерах компании PIC32 Microchip Technology. Дальше сделали пакет, в котором преподаватели и студенты синтезировали процессор для ПЛИСов, причем использовался тот же код с вариациями, который до этого 15 лет лицензировали десяткам производителей процессорных чипов. Суть в том, что это промышленное процессорное ядро установлено в куче разных устройств, и до этого проекта лицензия на него стоила 200 тысяч долларов, а раньше еще больше. Это линия процессоров приобреталась разными компаниями и все время менялась. Революционность этого проекта в том, что лицензия стоимостью в несколько сотен тысяч долларов теперь раздавалась бесплатно в целях образования.

Вместе с Робертом Оуэном — менеджером образовательных программ Imagination Technologies — мы сделали такой пакет для MIPS, причем я написал техническое задание (ТЗ) от лица компании и участвовал в разработке некоторых характеристик этого проекта.

В 2015 году я привез этот проект в Россию, и мы провели семинар в МИЭТ, МГУ, МФТИ, МИФИ, ИТМО, Самарском университете. Мы поняли, что для человека, который не знаком с концепцией конвейера и синтезом Verilog, этот промышленный процессор будет непонятен и неинтересен. После этого семинара я подумал, что нужно сделать что-то гораздо более базовое, массовое. Такие базовые лабораторные работы были в российских вузах мало распространены, поэтому мы сократили двухсеместровый курс до нескольких дней в формате летней школы.

Мне было интересно провести такой эксперимент для старших школьников, так как, с моей точки зрения, олимпиадники, которые участвуют в городских, региональных, всероссийских олимпиадах, смогут понять базовые концепции проектирования на уровне регистровых передач.

В РФ много школьников, которые делают проекты на Arduino и проекты с микросхемами малой степени интеграции на макетной плате. Технология микросхем малой степени интеграции (например, серии TTL 7400

или CMOS 4000) для промышленности давно устарела. Их использовали для упражнений со школьниками еще пятьдесят лет назад, но сейчас они не имеют отношения к текущему проектированию гаджетов, хотя на них хорошо объяснять основы. Что касается упражнений с Arduino, то они учат использованию готовых микроконтроллеров и встроенному программированию, а не проектированию самих чипов.

Мне было интересно попробовать базовые логические элементы и программирование готовых чипов. А именно современные технологии, которые ведут к проектированию чипов. И я это попробовал осуществить со школьниками в новосибирской летней школе юных программистов, где участники тщательно отбираются, и там было несколько очень продвинутых школьников. Я понял, что это для них в принципе вписывается в программу начиная с 8 класса, до 8 класса мало кто понимает, как строится функция D-триггера — до этого времени они могут делать простые комбинационные схемы, типа И, ИЛИ, НЕ, сумматор. Я стал экспериментировать со школьниками в Новосибирске, потом провел короткий семинар в Киеве, в Москве. В 2019 году я провел летнюю школу в МИЭТ и обратил внимание, что это нужно для студентов, так как эти курсы поставлены еще не во всех вузах.

**ЦРБТ:**

**Как вы оцениваете качество подготовки специалистов, которых выпускают российские вузы по направлению «микроэлектроника»? На чем бы Вы посоветовали сфокусироваться талантливым студентам в России?**

**Ю. П. :**

В таких продвинутых вузах, как МИЭТ и ИТМО, даже несмотря на имеющиеся проблемы, локальные профессора на основе собственной инициативы все-таки умеют обучать студентов, натаскивать их с помощью проектов, и часть этих студентов впоследствии идет работать в такие продвинутые российские компании, как ЭЛВИС\_НеоТек, Syntacore, Байкал Электроникс, CloudBEAR или институты вроде НИИСИ, которые делают российские процессоры для космоса. Но количество таких студентов невелико. То, что российским студентам не достает многих знаний по результату прохождения курсов, очевидно: потом им приходится самостоятельно обучаться на производстве.

Это, конечно, проблема не только российских, но и американских вузов. У меня был, например, практикант из Стэнфорда, продвинутого вуза с хорошими учебниками, но даже у них есть определенный пробел в знаниях дополнительных технологий типа верификации в SystemVerilog или же специфических протоколов шин, чему их нужно учить на производстве. В случае с российскими студентами этих пробелов больше. Чтобы проектирование электроники в России стало массовым, нужно сделать конвейер для подготовки большого количества инженеров, а не только избранных, которых потом натаскивают на производстве.

Я видел, как люди толпой устремлялись в какую-то отрасль, как тренды превращались в коммодити — то есть то, что делают все.

Талантливым студентам России я бы посоветовал сфокусироваться на том, что им интересно, что их заводит, но при этом не забывать о реальной жизни. Это походит на метания между Сциллой и Харибдой, есть два ложных пути: самый распространенный из них — пойти в интернет и спросить, что сейчас в тренде, за что больше платят. Я в этой индустрии много лет, еще начиная с физмата, и я видел, как люди толпой устремлялись в какую-то отрасль, как тренды превращались в коммодити — то есть то, что делают все. Таким трендом было программирование Windows, программирование на Java, проектирование

сайтов с помощью HTML, искусственный интеллект. Внутри этих трендов были микротренды. В принципе нет ничего плохого в том, чтобы участвовать в этих трендах, но нужно осознавать, заводит ли вас это. Если вы действительно станете долговременным, уникальным специалистом в рамках этого тренда, окей, но если станете одним из многих в коммодити, то это плохо.

Я приведу пример из книги некоего мотивейшн-спикера о том, как важно иметь уникальную позицию. Это близко к нашей американской действительности. Когда мне нужно выкопать канаву в саду, я нанимаю рабочих: еду к ближайшему крупному хозяйственному магазину, где стоит очередь из мексиканских рабочих, которые ждут, пока к ним кто-нибудь придет и попросит их съездить выкопать канаву. Я подъезжаю и выбираю команду, они приезжают, копают канаву, и я им плачу. Но цена на эти услуги снижается, так как их там целая очередь, и это не самый лучший вариант жизненной реализации. Вот это предельный вариант в «коммодификации» — в конце концов, вы просто превращаетесь в взаимозаменяемых специалистов.

К этому пришел тренд написания веб-сайтов. Конечно, есть и ценные, высокопрофессиональные специалисты. Но если вы становитесь одним из этих мексиканцев около магазина, которые работают на подхвате и выполняют аутсорс-заказы, то, конечно, для студента 3 курса это быстрый способ накопить карманные деньги. В дальнейшем нужно стремиться к тому, чтобы иметь позицию, которая была бы интересна в важных проектах, даже если в начале карьеры это не приведет к быстрым деньгам и есть определенный порог вхождения.

В проектирование микроэлектроники труднее войти, но сейчас эта область не такая массовая. В этом плане в России есть уникальные возможности: те, кто войдут сейчас, смогут стать будущими ключевыми проектировщиками в российских больших компаниях. В России уже есть команды, похожие на команды Apple, Nvidia, Intel, но они меньше и пока не такие массовые. Когда они станут крупнее, то также выйдут на внешний рынок.

Возможности традиционных процессоров подошли к некоторому пределу еще в 90-е годы. Вначале шло повышение за счет тактовой частоты, потом за счет усложнения микроархитектуры, но еще 10-15 лет назад стали производить вычисления с помощью гетерогенного компьютера: часть из них делается на процессоре, часть — на графическом процессоре, а часть — на ускорителях для искусственного интеллекта, то есть ускорителях вычисления нейросетей. Эти компоненты связаны системой на кристалле, где разные ее части решают специальные задачи. Эти задачи вытекают из нынешних трендов, например, управления автомобилем: чип должен распознать то, что происходит на дороге и принять решение. Для подобных трендов нужны различные специализированные процессоры. Тут возникает большое количество задач, на которых можно вырастить, поднять компанию.

**ЦРБТ:**

**Отличаются ли российские студенты от своих зарубежных товарищей — например, китайских, американских или индийских студентов?**

**Ю. П. :**

Скажем так, в принципе топ-студенты всех стран довольно похожи, но, скажем, у китайских студентов имеется некий протокол: им нужно всегда получить одобрение от человека, которого они рассматривают как авторитет, прежде чем что-то сделать, они спрашивают: «Я делаю то-то, это так?». А российские студенты в этом смысле более автономны, если студент хорошо мотивирован, то готов делать больше домашней работы: почитать длинный документ, изучить его, потом сформулировать вопросы. Китайские студенты задают больше вопросов на каждом шаге, и причиной этого, на мой взгляд, может являться несколько другая культура и менталитет.

Сходство российских инженеров с японскими в том, что они стараются делать простые, эстетичные решения. Я работал с инженерами в Sony, Fujitsu, где прослеживается такая тенденция. Российские и японские инженеры пытаются работать так, чтобы был какой-то эссенциализм, и это в принципе хорошо с точки зрения удобства в использовании и надежности. В Америке имеется хорошая инновационность, но у них ясность и внимание к деталям не настолько развиты, как у японцев. В Штатах в большей степени подвержены маркетингу, чем, скажем, в Японии, у них внутри компании проходит коллективное обсуждение того, что стоит делать, и если они что-то решили, то сколько им маркетеров не присылай, им все равно: они будут делать так, как задумали.

» В принципе, топ-студенты всех стран довольно похожи <

Тут еще проблема в том, что в Штатах, к сожалению или к счастью, в инженеры идут не так много людей, только те, кому это реально интересно с детства, а вот в бизнес идут больше, чем в инженерные и научные профессии вместе взятые. Когда они идут в промышленность, они становятся очень качественными и профессиональными специалистами. В Китае, в Индии это в том числе социальный лифт, поэтому там при наличии большого количества населения воронка тех, кто входит в инженерную профессию, шире. В Южной Корее это вообще очень престижно, здесь имеется некое социальное обучение.

ЦРБТ:

**Видимо есть ли какие-то различия по приоритетным направлениям применения микроэлектроники в России и США?**

Ю. П. :

В мой первый приезд в Россию после 20-летнего отсутствия большая часть чипов производилась для военных проектов и для космоса. Группы, которые делали это в Зеленограде, работали исключительно над госзаказами. Когда в 90-е годы произошел коллапс, это направление было аннулировано, то есть офисы производств, которые делали компьютеры, микропроцессоры, были отданы торговым компаниям, они просто исчезли. Но из-за того, что российское правительство поддерживало группы космических, военных проектов, они даже в 90-е годы, хотя и в небольшом количестве, делали, например, процессоры для космоса.

Когда 20 лет назад они начали расширяться и заключать сделки с иностранными компаниями, я туда приезжал, чтобы составить эти сделки вместе с вице-президентом по продажам в Европе MIPS Europe VP Sales и я видел это изнутри. Компании, которые раньше были заняты госзаказами и космосом набирали новых студентов, расширялись для работы над более крупными вещами, например, ЭЛВИС начал разработку умных камер, с которыми компания может выйти на внешний рынок.

Сейчас есть компания Байкал, производящая процессоры для общего применения, туда пришли люди, работавшие над госзаказами в 90-е годы. Именно в этом было определенное различие, которое сейчас уже не так заметно: в России 10–15 лет назад это были проекты по большей части для военки, космоса, а в Штатах — для гаджетов. Конечно, в Штатах военно-космические проекты тоже в свое время были двигателями прогресса, но это было давно, в 60-е – 70-е годы, когда были разработаны многие суперкомпьютерные решения, которые потом вошли в те же самые смартфоны.

ЦРБТ:

**По вашему мнению, какие компании являются лидерами в мире области разработки и производства?**

Ю. П. :

Лидеры традиционные: топ-20 электронных компаний, которые у всех на слуху — это Apple, Samsung, Nvidia, Intel,



AMD, Qualcomm, MediaTek по количеству чипов. Потом следуют компании в области Semiconductor IP (полупроводниковая интеллектуальная собственность) — среди них выделяется ARM, но есть и компании поменьше. Затем следуют три лидера в области автоматизации проектирования микросхем, которые делают программы для крупных компаний: это Synopsys, Cadence и Mentor Graphics, и вокруг этих компаний есть большое количество стартапов.

ЦРБТ:

**Какие события и/или открытия, на Ваш взгляд, можно выделить в микроэлектронике за последние несколько лет?**

Ю. П. :

За последние годы есть большая активность, во-первых, насчет ускорителей для вычисления нейросетей. Во-вторых, было несколько разработок с целью сделать микросхемы трехмерными, так как на двухмерных скорость распространения сигнала конечна. Также были разные локальные тренды использования новых элементов: например, магниторезистивная оперативная память MRAM, в которую, в частности, инвестировал Роснано. Был и ранний тренд в гетерогенных системах, когда процессоры комбинируются без традиционных вычислительных элементов.

ЦРБТ:

**Каким вы видите будущее микроэлектроники: какие технологии и материалы будут применяться?**

Ю. П. :

Существует одна интересная область, которая может развиваться в дальнейшем. Проблема в том, что вся технология, которая применяется сейчас массово в чипах,



в гаджетах вроде iPhone, базируется на парадигме, придуманной еще в 1940-е годы. Она заключается в том, что все строится на двух типах элемента – это комбинационные элементы типа И, ИЛИ, НЕ, а также базовые элементы памяти – это D-триггеры, которые записывают вычисленное значение каждый такт. Тактовый сигнал – это как бы единый метроном, который бьет в такт, после чего все вычисления внутри блока или части блока идут строем. Эту схему придумали для повышения производительности труда, она с тех пор проходит красной нитью через все применяемые ныне методологии, потому что она удобна, с ее помощью можно создать предсказуемые алгоритмы, но это не единственная схема того, как можно организовать вычисление.

В те же 40-ые годы возникло много альтернатив, можно перечислить 5-6 вариантов, где проектируют не на основе комбинационной логики и D-триггеров, а с помощью разных других базовых элементов. На них тоже можно строить такие схемы, как процессоры, но такие методологии не поддерживаются массовыми инструментами даже в Synopsys и Cadence. И если кто-нибудь сможет сделать программу, которая поддерживает эту методологию проектирования, основы которой были заложены еще в середине 20 века, и это войдет в большие микросхемы, то в дальнейшем можно будет создать микросхемы, которые будут производить вычисления с более низким энергопотреблением, и смогут преодолеть проблему распространения сигналов по чипу.

Наша проблема аналогична проблеме дирижера: в этом метрономе тактовый сигнал тоже имеет проблему с пространением. Дирижер в оркестре виден, если в оркестре до ста человек, но если у вас в оркестре тысяча человек, то те, кто стоят далеко, просто его не увидят. Как это происходит в локально-синхронных, глобально асинхронных схемах: они передают сигнал в другие части микросхемы, уподобившись оркестру без центрального дирижера. Это целая область, которую за последние 30 лет несколько раз пытались атаковать стартапы, но мейнстримом она так и не стала.

Я, к сожалению, не специалист по материалам, но ясно, что традиционный кремний дошел до предела, и все эти FinFET-транзисторы и прочее – это уже балансирование на грани на протяжении последних 15 лет.

**ЦРБТ:**

**Вам удалось поработать во многих успешных компаниях: MIPS Technologies, Juniper Networks, Samsung Advanced Computing Lab. Как вы думаете, почему в России нет таких компаний, как Samsung?**

**Ю. П.:**

Есть три основных препятствия: деньги, связь с партнерами, кадры.

Если мы возьмем ситуацию 15-20 лет назад, в то время на такие проекты не было денег, здесь, в Штатах, стартапы финансируются венчурными капиталистами, для этого есть некая накатанная схема, которую я знаю в деталях. В России венчурные капиталисты тоже появились, но проблема в том, что в случае поддержки проектов разработки чипов венчурные капиталисты пригодны только для проектов, которые они хорошо знают.

В Штатах есть капиталисты, венчурные инвесторы, государственные грантодатели для исследователей в университетах. В России двадцать лет назад всего этого не было или же было в ограниченном количестве, но потом проблему решили через Роснано, которая стала вкладываться в индустрию. Деньги нужны, поскольку лицензии для автоматизации проектирования стоят миллионы долларов. Начальный платеж для коммерческого чипа раньше составлял сотни тысяч долларов, а сейчас миллион или два. Конечно, можно сделать пробный чип с помощью шаттла, который стоит десятки тысяч долларов, но это тоже первоначальные траты. В России Роснано стала вкладываться в Байкал, ЭЛВИС, и такие проекты стали возможны. Таким образом, одно из препятствий ушло.

Проблемы со связями решались на моих глазах и с моим участием, то есть представители Synopsys, Cadence, ARM, MIPS стали ездить в Москву, встречаться с российскими микроэлектронными компаниями и заключать сделки, а до этого их средства проектирования использовали без лицензии. Сейчас компании ЭЛВИС, Байкал тратят миллионы долларов на эти лицензии от Synopsys, Cadence, Mentor Graphics, ARM, Imagination.

Этих связей не было, они стали возникать в 90-е годы. Я наладил контакт между компанией Mentor Graphics и группой в МФТИ, которая работала над моделью процессора, в частности, они сделали проект с компанией Hitachi по модели процессора Hitachi SH. В 1996 году Mentor Graphics вместе с Hitachi сделали об этом пресс-релиз со статьёй в Electronic Engineering Times, но тот факт, что модель этого процессора была сделана в Долгопрудном, не был упомянут.

А с компаниями по лицензированию полупроводникового IP бизнес начал адекватно развиваться лишь 10 лет назад. До этого 20 лет назад (в 2003 году) в Москву приезжал представитель MIPS и там все пошло не так. Я слышал эту историю и с российской, и с американской стороны, они тогда друг друга не поняли. Российская сторона пыталась сделать так, чтобы российская компания Модуль договорилась от лица всей российской промышленности получить лицензию на MIPS для всех российских компаний, то есть фактически получить лицензию на всю страну. С точки зрения американской компании MIPS в 2003 году это было абсурдно, они продавали лицензии только отдельным компаниям, а тут на всю страну, такого не бывает (кстати, впоследствии MIPS стали делать таким образом лицензии с китайским правительством, но это отдельная история). В общем, повторяюсь, тогда они друг друга не поняли, но спустя некоторое время начали, наконец, заключаться сделки с компаниями MIPS, ARM в 2010–2011 году. Это был определенный прорыв.

Проблема с деньгами была закрыта 10 лет назад с помощью Роснано, проблема с партнерством была закрыта в то же время этими сделками, но осталась проблема с кадрами, которая решается сейчас.

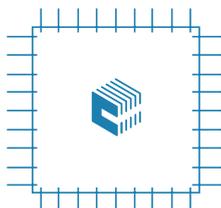
Бывший президент компании ЭЛВИС-НеоТек Ярослав Петричкович еще 10 лет назад говорил, что хочет вырастить российский Samsung, то есть большую российскую компанию, используя компанию ЭЛВИС-НеоТек в качестве

локомотива. Главная проблема — это создание большого сообщества инженеров, которая решается с помощью массового образования. Похожая обстановка складывалась в области разработки ПО в Москве в конце 80-х годов. Тогда были люди, которые не верили, что советские программисты могут писать программы для Windows, как в Микрософте. Сейчас людям трудно представить, как одни и те же технологии могут использоваться как для проектирования железа Apple iPhone, так и в офисе Байкал в Москве. А между тем именно это и происходит, но отличие между тем, что происходило в Москве в конце 80-х годов и тем, что происходит в течение последних 10 лет заключается в том, что разработку ПО 30 лет назад можно было делать на коленке: вы просто покупаете учебник по программированию Windows, усаживаетесь, читаете, что-то пишете.

Здесь же барьер входа в отрасль выше:

Нужно дольше учить специалистов, у них более сложная специализация.

В программировании есть разные программисты для вебсайтов и для встроенных систем и компиляторов. В проектировании аппаратуры разница еще глубже: например есть специализации проектировщика логики и проектировщика физического размещения на микросхеме, их нужно учить по-разному. Кроме этого, гораздо выше стоимость погрешности: если есть малейшая ошибка в чипе, вам нужно все переделать на фабрике, и при этом потери, как мне сообщали в разных компаниях, могут быть выше 20 миллионов долларов, из-за стоимости перезапуска и потерянного времени, потерянной прибыли от продаж. На фабрике очередь заказов расписана на несколько месяцев. В целом суть та же самая, что в конце 80-х годов с программированием, хотя гораздо выше цена и больше трудностей, но это можно изменить.



# МАТЕРИАЛЫ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ



▶ Сегодня бесспорное лидерство среди материалов микроэлектроники принадлежит кремнию. Однако он подходит далеко не под все нужды отрасли. Кроме того, пределы возможностей его использования почти достигнуты, а по всему миру ведутся разработки инновационных материалов.

История показывает, что весомые преимущества перспективных технологий перевешивают технологическую инерционность. И зачастую то, что еще вчера казалось неизбылем, сегодня отходит на второй план.

В данном материале представлен обзор используемых в микроэлектронике полупроводниковых материалов. Мы постарались выделить основные характеристики, преимущества и недостатки наиболее известных и/или перспективных из них.

## Si КРЕМНИЙ

Химическое вещество: неметалл

**Описание:** В природе встречается чаще всего в виде кремнезема (диоксида кремния – SiO<sub>2</sub>). Благодаря большой распространенности в земной коре и подходящим технологическим свойствам кремний сегодня является наиболее оптимальным материалом для микроэлектронного производства. Для увеличения плотности элементов и быстрейшего интегральных схем используются комбинации элементов монокристаллического и поликристаллического кремния. Для увеличения проводимости поликристаллического кремния его легируют.

Основными областями применения являются интегральные микросхемы, биполярные и полевые транзисторы, приборы с зарядовой связью, выпрямительные плоскостные диоды, стабилитроны и тиристоры, быстрореагирующие фотодиоды, датчики Холла, тензодатчики. Продукты на основе кремния, такие как MOSFET- или IGBT-транзисторы с суперпереходом, можно использовать в широком диапазоне напряжений (от единиц до нескольких сот вольт) и в различных классах мощности.

**Преимущества:**

- 1 Один из наиболее распространенных химических элементов (в виде кремнезема)
- 2 Дешевизна
- 3 Нетоксичность материала для человека
- 4 Наличие естественного оксида
- 5 Наличие собственной подложки, то есть подложки, изготовленной из того же материала, что и полупроводниковая структура
- 6 Относительная легкость работы с материалом
- 7 Относительная легкость добычи
- 8 Отработанные механизмы получения упорядоченных кристаллов
- 9 Отлаженное производство кремниевых приборов

**Недостатки:**

- 1 Хрупкость кристаллической решетки, осложняющая обработку кристаллов
- 2 Ограничения при работе с высокими напряжениями, мощностями, температурами и частотами

## SiC КАБРИД КРЕМНИЯ

Химическое вещество: соединение

**Описание:** Благодаря своим характеристикам карбид кремния эффективен в установках с высокой мощностью и высоким напряжением. Продукты на основе карбида кремния подходят для классов напряжения от 650 В и выше (выходя за рамки ограничений продуктов на основе кремния и достигая уровней мощности свыше 3 кВ). Использование карбида кремния также дает возможность существенно снизить потери на высоких частотах и расширить температурный диапазон. Наиболее широкое распространение в электронике нашли модификации 3C-SiC, 4H-SiC и 6H-SiC.

Материал используется в MOSFET-транзисторах, в том числе СВЧ, в диодах Шоттки, а также в силовых модулях. Примером отрасли применения в микроэлектронике сегодня является автомобилестроение. Так, чипы на основе карбида кремния используются в инверторах автомобилей Tesla. Однако, несмотря на значительное сокращение плотности дефектов (что, в свою очередь, снизило его стоимость), данный материал все еще остается слишком дорогим для массового использования.

**Преимущества:**

- 1 Большая ширина запрещенной зоны по сравнению с кремнием и арсенидом галлия, что позволяет работать при экстремальных температурах, высоких удельных мощностях, повышенных напряжениях

- 2 Высокая радиационная стойкость
- 3 Высокая теплопроводность
- 4 Высокая напряженность поля пробоя, что позволяет разрабатывать мощные приборы на основе карбида кремния
- 5 Высокая плотность электрического тока, что позволяет размещать большее количество чипов на SiC-пластинах
- 6 Наличие собственной подложки, то есть подложки, изготовленной из того же материала, что и полупроводниковая структура
- 7 Стабильность электрических характеристик при изменении температуры и отсутствие дрейфа параметров во времени
- 8 Низкое активное сопротивление, что позволяет снизить потребление энергии

**Недостатки:**

- 1 Сложность обработки кристаллов
- 2 Дороже, чем кремний
- 3 Высокая плотность дефектов, существенная доля брака
- 4 Пластины карбида кремния прозрачны, что создает трудности для фотолитографии, автоматизированного обнаружения дефектов и автоматизированной обработки пластин
- 5 Процесс имплантации и активации примесных атомов в SiC-структурах гораздо сложнее, чем в кремнии



# Ge

ГЕРМАНИЙ

## Химическое вещество: неметалл

**Описание:** Первый транзистор был германиевым. Однако вскоре германиевые приборы в микроэлектронике были практически полностью вытеснены кремниевыми. Кремний обладает целым рядом преимуществ перед германием: он гораздо более распространен и он дешевле, у кремния более широкая запрещенная зона, лучше теплопроводность. Но германий превосходит кремний по двум значимым характеристикам: проводимость электронов и дырок. При комнатной температуре электроны в германии движутся почти в три раза быстрее, а дырки – почти в четыре раза.

Германий не подходит для современных интегральных схем и, поэтому, серийно не применяется в микроэлектронике (речь идет именно о чистом германии, а не о кремний-германиевой технологии). Среди актуальных областей применения германия остаются СВЧ-устройства, аудиоаппаратура, а также маломощные и прецизионные приборы.

### Преимущества:

1 Намного более высокая проводимость электронов и дырок, чем у кремния

### Недостатки:

- 1 Дороже, чем кремний
- 2 Низкая термостабильность – ухудшение характеристик при увеличении температуры
- 3 Обратные токи больше, чем у кремния, поскольку ширина запрещенной зоны меньше
- 4 Теплопроводность ниже, чем у кремния
- 5 Трудно добывать
- 6 Диэлектрическая проницаемость германия выше, чем у кремния, поэтому его барьерная емкость переходов выше, что снижает быстродействие ИС
- 7 Сложности получения чистого кристаллического германия
- 8 Легко образуются приповерхностные дефекты, снижающие подвижность носителей заряда

# GaAs

АРСЕНИД ГАЛЛИЯ

## Химическое вещество: соединение

**Описание:** На сегодняшний день арсенид галлия является одним из основных полупроводниковых материалов. Большая ширина запрещенной зоны и высокая подвижность электронов позволяют создавать на его основе приборы, работающие при высоких температурах и высоких частотах. Технология изготовления приборов на арсениде галлия достаточно хорошо отлажена, поскольку в микроэлектронике он используется довольно давно.

Благодаря особым свойствам, материал используется в основном для создания сверхвысокочастотных приборов микроэлектроники: цифровых и аналоговых интегральных схем, дискретных полевых транзисторов, диодов Ганна и т. д. Микросхемы на основе арсенида галлия используются при изготовлении мобильных телефонов, микроволновых приборов, устройств спутниковой связи и некоторых радарных систем.

### Преимущества:

- 1 Намного более высокая подвижность электронов, чем у кремния и германия
- 2 Широкая запрещенная зона, что позволяет работать при высоких температурах, частотах, напряжениях и мощностях

3 Высокая радиационная стойкость

### Недостатки:

- 1 Высокая стоимость
- 2 Сложность в интеграции с существующими технологиями на основе кремния
- 3 Теплопроводность ниже, чем у кремния
- 4 Технологические сложности при выращивании кристалла
- 5 Подложки из арсенида галлия сложны в изготовлении
- 6 Хрупкость кристаллической решетки (материал более хрупкий, чем кремний), осложняющая обработку кристаллов
- 7 Отсутствие стабильного, легко формируемого естественного оксида
- 8 Довольно низкая подвижность дырок
- 9 Высокая плотность дефектов, существенная доля брака
- 10 Токсичность и вредность самого арсенида галлия недостаточно изучена, однако продукты его гидролиза токсичны

# GaN

НИТРИД ГАЛЛИЯ

## Химическое вещество: соединение

**Описание:** Нитрид галлия входит в число наиболее перспективных материалов для силовой, СВЧ- и оптоэлектроники, поэтому ведущие мировые электронные компании инвестируют значительные средства в GaN-технологии. Причем рынок изделий на основе нитрида галлия развивается более динамично, чем – на основе карбида кремния, несмотря на более позднее начало его активной коммерциализации. GaN – достаточно дорогой материал, поэтому зачастую его используют в сочетании с привычным дешевым кремнием.

Материал используется в транзисторах, в том числе СВЧ, диодах Шоттки, силовых модулях, светодиодах, силовых интегральных схемах, радиационно-стойких изделиях электронной техники. Приборы на основе нитрида галлия, применяются в военной технике, бытовых зарядных устройствах, системах электрического транспорта, телекоммуникационных системах, радиолокационных устройствах, альтернативной энергетике.

### Преимущества:

- 1 Большая ширина запрещенной зоны по сравнению с кремнием и арсенидом галлия, что позволяет работать при экстремальных температурах, повышенных удельных мощностях и напряжениях, более высоких частотах

2 Возможность высокоскоростной коммутации

- 3 Низкое активное сопротивление, что позволяет снизить потребление энергии
- 4 Повышенная радиационная стойкость
- 5 Нетоксичность материала
- 6 Компактность аппаратуры, построенной с использованием нитрида галлия (вследствие повышенной электрической плотности и подвижности носителей заряда)
- 7 Возможность создания гибридных и монолитных микросхем на основе GaN-транзисторной структуры

### Недостатки:

- 1 Высокая стоимость
- 2 Проблемы формирования высококачественных исходных эпитаксиальных структур и технологии изготовления самих транзисторов
- 3 Сложности с обеспечением эффективного теплоотвода от активной структуры
- 4 Нестабильность тока стока при увеличении напряжения стока в GaN-транзисторах
- 5 Ухудшение параметров приборов на высокой частоте

# InAs

АРСЕНИД ИНДИЯ

## Химическое вещество: соединение

**Описание:** Арсенид индия – перспективный материал в микроэлектронике, основными характеристиками которого являются сверхвысокая подвижность электронов и очень малая ширина запрещенной зоны. Эти характеристики определяют области применения, в которых материал проявляет себя наилучшим образом.

Применяется для изготовления сверхвысокочастотных транзисторов и интегральных схем, а также светодиодов и фотодиодов ИК-диапазона, датчиков Холла магнитного поля, для организации ансамблей квантовых точек в некоторых полупроводниковых приборах.

## Преимущества:

1 Сверхвысокая подвижность электронов и плотность носителей заряда, что обеспечивает высокое быстродействие устройств на арсениде индия

## Недостатки:

- 1 Низкая ширина запрещенной зоны, что позволяет большинству полупроводниковых приборов на арсениде индия работать только при криогенных или очень низких температурах
- 2 Хрупкость кристаллической решетки, осложняющая обработку кристаллов

# InSb

АНТИМОНИД ИНДИЯ

## Химическое вещество: соединение

**Описание:** Антимонид индия выделяется из своей группы полупроводников уникальными свойствами: очень низкой температурой кристаллизации, малой шириной запрещенной зоны, сверхвысокой подвижностью носителей заряда. Материал является чрезвычайно перспективным, когда возникает потребность в быстродействии. Однако свойства материала предполагают использование технологий криогенного охлаждения, которые довольно дороги.

Применяется при изготовлении детекторов в ИК-диапазоне, датчиков Холла, туннельных диодов, термоэлектрических генераторов, лазеров, тензометров, а также в фотоэлементах, быстродействующих транзисторах, оптических фильтрах.

## Преимущества:

- 1 Сверхвысокая подвижность носителей заряда
- 2 Сравнительная простота получения монокристаллов особой чистоты с высоким структурным совершенством
- 3 Хорошая однородность электрофизических параметров
- 4 Малое потребление энергии при использовании приборов на основе антимонида индия

## Недостатки:

- 1 Настолько узкая запрещенная зона, что приборы на его основе могут работать только при криогенных температурах
- 2 Высокая нестабильность детекторов на основе антимонида индия
- 3 Чрезвычайно высокая хрупкость, осложняющая любую химико-механическую обработку кристаллов
- 4 Высокая токсичность
- 5 Высокая стоимость

## МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО

# C

АЛМАЗ

## Химическое вещество: неметалл

**Описание:** Алмаз – аллотропная модификация углерода. Ширина запрещенной зоны алмаза превышает 3 эВ, поэтому по определению он диэлектрик. Однако при добавлении примесей алмаз становится полупроводником. Попытки создания алмазных приборов проводятся в течение многих лет. Однако, хотя потенциально алмаз является очень перспективным материалом в микроэлектронике, для серийного производства приборов на его основе нужно преодолеть ряд преград, в частности, сложности его легирования и обработки.

Алмаз является перспективным материалом в высокочастотной, мощной и радиационно-стойкой электронике. Кроме того, низкий уровень собственных шумов при комнатной температуре позволяет использовать этот материал в приборах рентгено-флуоресцентного анализа.

## Преимущества:

- 1 Очень большая ширина запрещенной зоны, что позволяет работать при экстремальных температурах, повышенных удельных мощностях и напряжениях и высоких частотах
- 2 Высокая подвижность носителей заряда

- 3 Высокая дрейфовая скорость насыщения электронов и дырок
- 4 Высокая химическая устойчивость, позволяющая алмазным приборам работать в неблагоприятных окружающих условиях
- 5 Предельно высокая напряженность поля пробоя, что позволяет разрабатывать мощные приборы на основе алмаза
- 6 Высокие температурная и радиационная стойкость
- 7 Высокая теплопроводность

## Недостатки:

- 1 Очень высокая стоимость
- 2 Материал сложно обрабатывать традиционными для полупроводникового производства методами из-за его высоких инертности и твердости
- 3 Сложности получения пластин с размерами, принятыми для полупроводникового производства
- 4 Вследствие высокой химической устойчивости число веществ, способных обрабатывать поверхность алмаза методами химического травления, крайне ограничено
- 5 Особенности материала не позволяют изготавливать биполярные транзисторы, диоды с р-п переходами, УФ-диоды и лазеры

# Сn ГРАФЕН

Химическое вещество: неметалл

**Описание:** Графен – двумерная аллотропная модификация углерода. Поскольку материал считается весьма многообещающим с точки зрения его дальнейшего использования, выделяются миллиарды долларов для исследования его свойств. По всему миру существуют целые институты, занимающиеся изучением и разработками в области графена.

Графен перспективен в очень широком спектре применений: от современных энергетических сетей и альтернативной энергетики до биомедицины. В микроэлектронике графен предполагается использовать в сверхчувствительных микропроцессорах, элементах квантовых компьютеров, различных датчиках с экстремальными параметрами, теплопроводах.

**Преимущества:**

- 1 Высокая прочность (в 300 раз прочнее стали, однако здесь важно подчеркнуть, что толщины материалов должны быть сопоставимы)
- 2 Сверхвысокая подвижность носителей заряда, что позволит создать в тысячи раз более мощные процессоры, чем кремниевые

- 3 Очень высокая гибкость, что позволит создавать гибкие графеновые приборы
- 4 Очень высокая теплопроводность
- 5 Очень высокая плотность электрического тока, что обеспечивает сверхвысокую вычислительную эффективность приборов на основе графена
- 6 Низкое активное сопротивление, что позволяет снизить потребление энергии

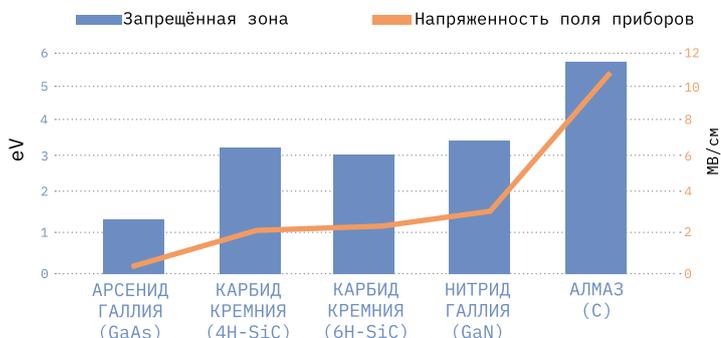
**Недостатки:**

- 1 Нестабилен и образует складки
- 2 Чрезвычайно высокая стоимость
- 3 Материал еще изучается, поэтому пока технологии для его получения, поддержания в стабильном состоянии очень сложны и дороги, а о технологиях для большого серийного производства в микроэлектронике пока не идет даже речи
- 4 Неизвестно, безопасен ли он для человека и природы
- 5 Отсутствие запрещенной зоны усложняет использование материала в качестве полупроводника (однако регулярно появляются публикации, в которых утверждается, что проблема решаема)

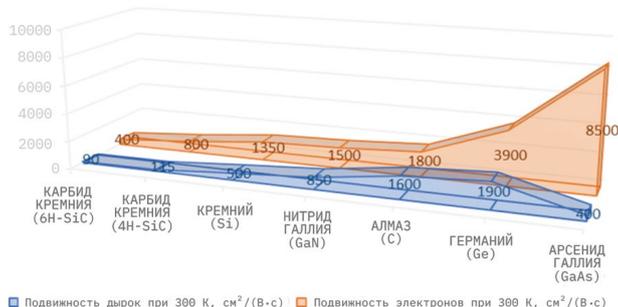
Данный ряд материалов далек от исчерпывающего. Сегодня в микроэлектронике, помимо перечисленных, применяются также диоксид гафния, антимонид галлия, нитрид алюминия, а также кремний-германиевые сплавы, арсенид индий-галлия, органические материалы и многое другое. Не представляется возможным также перечислить все перспективные материалы ввиду их разнообразия и постоянного расширения их списка: углеродные нанотрубки, фуллерен, нитрид бора, фосфорен, дисульфид молибдена – вот лишь некоторые из материалов будущего, заслуживающих упоминания.

Выбор материала определяется его назначением и областью применения. Например, для применений в космосе одним из ключевых факторов является радиационная стойкость, а в СВЧ-микроэлектронике – ширина запрещенной зоны.

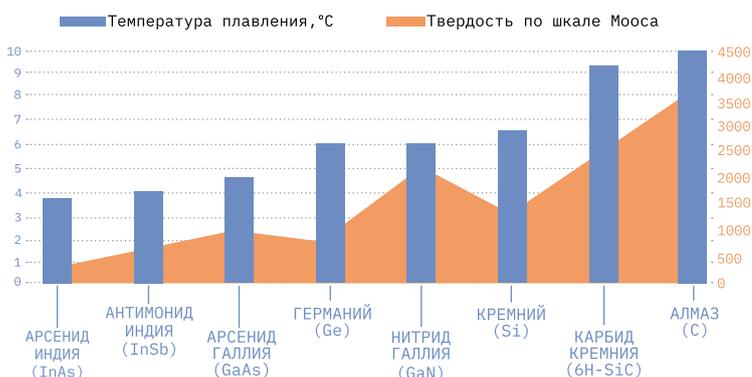
ПАРАМЕТРЫ РАДИОЦИОННО СТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИБОРОВ РАБОТАТЬ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ



ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ПРИБОРОВ



ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СЛОЖНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИС



ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

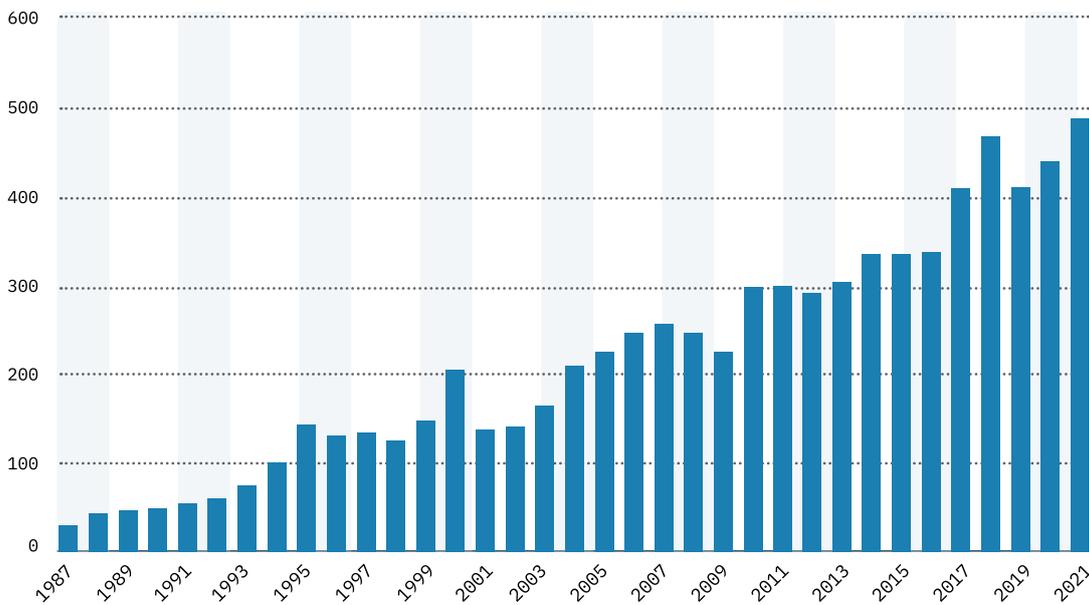


Таким образом, можно сделать осторожный прогноз, что кремний еще какое-то время будет занимать лидирующее положение в микроэлектронике благодаря его дешевизне, доступности и отлаженности производства кремниевых приборов. Однако постоянные усовершенствования технологий добычи и обработки веществ и соединений, естественные преимущества других материалов, а также новые открытия в материаловедении могут привести к изменению существующих трендов.

# КРИЗИС ПОЛУПРОВОДНИКОВ



В современном мире полупроводники активно внедряются в нашу жизнь и довольно сложно представить существование инновационных технологий без них. Может показаться, что медицина, транспорт, химическая промышленность, сельское хозяйство не так широко используют чипы, которые как раз и состоят из полупроводников, однако это не так. В связи с тем, что полупроводники становятся неотъемлемой частью любой сферы, на рисунке ниже мы можем увидеть стремительный рост объема рынка полупроводников.



В 2018 году аналитики прогнозировали нехватку полупроводников, так как скорость роста потребления сильно превышала производство. Прогнозы оказались правдивыми и начали сбываться в 2020 году. Нужно отметить, что были и другие неожиданные причины, которые оказали заметное влияние на возникновение кризиса полупроводников и усугубили ситуацию. Дефицит полупроводников оказывает существенное воздействие на многочисленные отрасли экономики и на телекоммуникационную в том числе. Полупроводниковые чипы используются не только в мобильных телефонах и портативных устройствах, но и для сети Интернет, маршрутизаторов, датчиков интернета вещей, беспроводной связи и во многих других случаях.

многие занялись ремонтом и обустройством дома, из-за чего вырос спрос на бытовую технику, например, холодильники, телевизоры.

По оценке группы «М.Видео-Эльдорадо», в 2020 году россияне приобрели около 3,1 млн ноутбуков на сумму 140 млрд рублей, что на 30% в штуках и 55% в денежном эквиваленте больше, чем годом ранее.

Владельцам облачных сервисов пришлось увеличить мощности своих серверов, ведь количество ежедневных пользователей с переводом населения в онлайн режим резко увеличилось.

Такой резкий рост потребления и остановка производства оказались критичными для общего рынка. В середине 2020 года у компаний еще оставались некоторые запасы, которые к концу года были исчерпаны.

Автомобильную отрасль кризис полупроводников затронул в большей степени, так как в производстве автомобилей полупроводники используются в большом количестве. Производители отменили огромное количество заказов из-за первичной ковидной паники, однако после изучения текущей обстановки на рынке возобновили масштаб производства и попали в сложную ситуацию: получать полупроводники и электронные чипы оказалось трудной задачей из-за их нехватки. Большое количество автопроизводителей оказались вынуждены сделать серьезный шаг — остановить конвейеры, так как потеряли возможность выпускать полнофункциональные машины. Процессоров не хватало даже на примитивные устройства, например, дворники или стеклоподъемники.

Согласно отчету аналитиков сети аудиторских компаний Deloitte, к 1980 году доля электроники в стоимости автомобиля составляла 10%, а в 2020 году эта цифра достигла 40%. Рост произошел из-за увеличения использования технологий безопасности, таких как подушки безопасности, антиблокировочная система тормозов и усовершенствования развлекательных технологий.



## ПРИЧИНЫ



Среди причин кризиса нужно выделить пандемию **COVID-19**, которая привела к увеличению спроса на вычислительную технику, бытовую электронику и медицинское оборудование. Пандемия оказалась неожиданностью для всех, никто не был к ней готов.

Люди не выходили на работу, не посещали учебные заведения по причине введения государством общего карантина, по этой причине они были вынуждены работать и учиться удаленно. Карантин оказал существенное влияние и на производство полупроводников. Постепенно начали закрываться заводы в Китае, а далее и по всему миру. Именно поэтому начались сильные задержки производства, и сроки поставок комплектующих срывались. Одновременно из-за локдаунов возникли проблемы с логистикой, которые привели к повышению цен.

Паника и снижение покупательского спроса привели к тому, что производители, которые активно использовали полупроводники в своей работе, начали отменять заказы на чипы и сокращать производство. Как показывают данные, спрос на товары, напротив, только вырос. Людям срочно понадобились инструменты для обеспечения комфортных условий для дистанционной работы и онлайн-обучения: веб-камеры, ноутбуки, планшеты. Параллельно с этим увеличился спрос и на товары для развлечений. Более того,



**Торговая война между США и Китаем** оказала существенное влияние на возникновение кризиса полупроводников. В 2020 году США в начале пандемии запретила TSMC поставки чипов Huawei, и поэтому китайские производители начали запасаться микросхемами. Позже ведущий китайский чипмейкер SMIC также попал под санкции, как следствие, многие компании отказались от закупок у этого крупнейшего производителя, на долю которого приходится около 5% мирового рынка полупроводников, и обратились к другим производителям, которые оказались не способны справиться с возросшим спросом. Более того, инвесторы из США не могли торговать акциями SMIC из-за запретов. Весной 2021 года несколько конгрессменов потребовали запрета продажи КНР любого ПО для разработки современных полупроводников. Следствием, Китай остался без необходимых технологий, что делало невозможным развитие собственного полупроводникового производства.

Следующей причиной кризиса полупроводников являются **пожары**, которые произошли в конце октября 2020 года на фабрике аудиочипов Asahi Kasei Microsystems (AKM) и 19 марта 2021 года на заводе японской компании Renesas — одного из лидеров полупроводниковой промышленности. Пожары повлияли на производство микросхем для автопромышленности, на восстановление которого ушло больше 3 месяцев.

На дефицит полупроводников повлияли и **климатические условия**, а именно экологический кризис на Тайване: фабрики остались без воды для промывки кристаллов кремния. Количество осадков в 2020 году было низким, поэтому остров страдал от самой сильной засухи за последние 56 лет. В мае резервуары для воды на фабриках

TSMC были заполнены не более, чем на 23%. Заводы компаний потребляли 150 тысяч тонн воды в день, а теперь им приходилось доставлять воду в грузовиках.

Более того, в феврале 2021 года в Техасе прошли **сильные снегопады**, что привело к сбоям подачи энергии, от этого пострадали, в частности, заводы, поставляющие полупроводники на производство Samsung в Остине и на две фабрики нидерландской NXP.

Одним из серьезных и постоянно усиливающихся факторов служит **рост сектора майнинга криптовалют**, базирующийся на использовании мощностей большого количества высокопроизводительных процессоров и видеокарт. На 2021 год потребление электроэнергии майнерами превышало аналогичный показатель у таких стран, как Саудовская Аравия или Норвегия. Стоит отметить, что ограничивающим фактором для данной индустрии на текущий момент является нехватка чипов. Стремительный рост таких масштабов майнерами уже привлек внимание правительства Китая, в котором расположены 2/3 мощностей от всего рынка.

В конце концов, **глобальный дефицит кремния** также повлиял на полупроводниковую отрасль. Микросхемы создаются путем печати на пластинах, изготовленных из поликристаллического кремния — материала, который состоит из мелких кристаллов. Основываясь на отчете **«Global High Purity Silicon Market Size: Top Players Study and Regional Forecasts 2021-2027»** компании **Calibre Research**, можно сказать, что цена на кремний будет расти до 2027 года.

## ПОСЛЕДСТВИЯ

Автопроизводители сократили производство по всему миру, и поэтому цены на автомобили резко выросли. В августе 2021 года продажи в России уменьшились на 17% из-за дефицита чипов.

Как сообщает General Motors, продажи автомобилей в США в третьем квартале стали меньше на 30% по сравнению с прошлым годом. Компаниям пришлось прервать производство и уменьшить имеющиеся запасы в дилерских центрах. Такие большие компании, как Ford, Volkswagen и Daimler, также были вынуждены приостановить производство в различных точках и свести к минимуму свое производство. Один из самых крупных производителей автомобилей в Индии, Maruti Suzuki, сократил производство на 60% в сентябре 2021 года. По сравнению с 2020 годом существенно (в 2-2,5 раза) подорожали

видеокарты из-за дефицита чипов и повышения спроса на оборудование для майнинга.

## КАК ПЫТАЮТСЯ ОСТАНОВИТЬ КРИЗИС? ПУТИ РЕШЕНИЯ

Во всем мире люди стали задумываться, что полупроводники — это чуть ли не один из базисов нашей цивилизации. Для выхода из тяжелой ситуации многие страны вложились в производство полупроводников серьезнее прежнего.

## ↓ США

США, на долю которых приходится 47% мировых продаж полупроводников, производят только около 12% микросхем в мире, что делает американские компании зависимыми от ослабленной глобальной цепочки поставок. Закон США об инновациях и конкуренции выделил \$52 млрд на расширение местного производства в течение последующих пяти лет. TSMC объявила о запуске масштабного плана в размере \$100 млрд по увеличению своих глобальных мощностей по выпуску чипов. Власти США и руководство TSMC приняли решение о строительстве новых линий производства чипов в Аризоне. Большая часть выделенной суммы будет использована на строительство шести заводов в США, чтобы удовлетворить растущие потребности таких крупных компаний, как AMD, Apple, NVIDIA, Qualcomm, Broadcom. На данный момент уже известно о начале строительства первого комплекса.

## ↓ ЯПОНИЯ

Правительство Японии обратилось к TSMC и Sony Group с просьбой об инвестировании в строительство первого в стране завода по производству 20-нанометровых микросхем на сумму \$9,2 млрд, что даст большой толчок для будущего развития отрасли. Компания TSMC получила разрешение на возведение завода по производству микросхем в Японии.

## ↓ ЕВРОПЕЙСКИЙ СОЮЗ

Европейский Союз хочет, чтобы в ближайшие годы 20% полупроводников производилось на их территории. Многие компании обещают расширение производства. «Большая тройка» производителей чипов – а именно TSMC, Samsung и Intel – заявили о планах расширить производство, что обойдется этим компаниям примерно в \$150 млрд.

## ↓ КИТАЙ

Китай в соответствии с генеральным планом инвестировал \$1,4 трлн в рамках программы Made in China 2025. Цель инвестиции: прокладывать беспроводные сети 5G, устанавливать камеры и датчики, разрабатывать программное обеспечение для ИИ. Более того, SMIC – крупнейший китайский производитель полупроводников – рассказал о начале строительства нового завода, финансирование которого возьмет на себя государство.

## ↓ ЮЖНАЯ КОРЕЯ

Южная Корея к 2030 году инвестирует \$452 млрд в производство полупроводников. Правительство собирается развивать весь цикл производства собственных чипов, а также снижать стоимость продукции путем уменьшения процентных ставок и помогать разработчикам, производителям и поставщикам чипов, предоставив им ряд налоговых льгот. Для сохранения своих позиций на рынке они хотят профинансировать обучение более 36 тыс. специалистов по полупроводникам.

## РОССИЯ

Кризис полупроводников мало затронул российскую экономику, в большей степени был задет потребительский сектор, а не промышленный. По мнению аналитиков ГК «Финам», для России в текущем моменте особой угрозы нет. Представители ООО «Алор» также считают, что дефицит слабо затронет Россию. По их мнению, это связано с тем, что отечественная промышленность не использует полупроводники в больших объемах. Более того, в России имеется небольшое собственное производство полупроводников.

Необходимо отметить, что кризис все-таки затронул таких российских разработчиков, как «Эльбрус», «Байкал», НПЦ «Элвис», которые активно заказывали микросхемы у TSMC. Компания «Байкал Электроникс» получила с фабрики первую крупную партию чипов Baikal-M в количестве 5 тыс. штук, но партия пришла с запозданием и была меньше, чем ожидалось, что связано с чрезмерной загруженностью контрактного производителя.

По мнению экспертов, необходимо понимать, что не получится исправить ситуацию так быстро. Начало нового производства предполагает использование суперсовременного оборудования и потребность в квалифицированных кадрах. Все это требует огромных вложений, так как чип состоит из миллиарда транзисторов, размер каждого – всего несколько нанометров, и все манипуляции с полупроводниками проводятся высококачественными машинами на микроскопическом уровне. Потребуется также много времени, поскольку производство полупроводников – сложнейшая цепочка технологий.

## КОГДА ЗАКОНЧИТСЯ КРИЗИС ПОЛУПРОВОДНИКОВ?

Мнения экспертов разделились касательно прогнозов восстановления рынка после кризиса полупроводников. Одни считают, что это произойдет не раньше, чем через два года, а другие – только через четыре-пять лет.

TSMC

По мнению TSMC, нехватка полупроводников сохранится и в 2022 году. Производителям необходимо поднять расходы, запустить новые заводы и скорректировать планы по росту. По прогнозам компании, дефицит полупроводников для автомобильной промышленности начал сокращаться с третьего квартала 2021 года, однако глобальный дефицит сохранится еще минимум год.

Nvidia

Nvidia оценивает ситуацию на рынке так же, как и TSMC. Колеетт Кресс – вице-президент и финансовый директор корпорации – рассказала, что дефицит микросхем будет ощущаться до конца текущего года.

Intel

Тем не менее, по мнению Intel, нехватка чипов сохранится и после 2022 года, так как спрос намного выше предложения. Они считают, что для выхода из этой ситуации необходимо строительство новых заводов. Пэт Гелсинджер – директор Intel – говорит, что существующий дефицит микросхем продолжит усугубляться, но он со своей командой поможет снизить нагрузку. Он заявил, что полное решение проблемы займет гораздо больше времени, чем ожидалось.



## МНЕНИЯ ЭКСПЕРТОВ

**ЦРБТ:**

Каким образом отразился кризис полупроводников на развитии микроэлектроники в России? Как скоро он закончится? Какие действия необходимы для преодоления негативных последствий для России?



**АССОЦИАЦИЯ  
РАЗРАБОТЧИКОВ  
И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ**



**Иван Покровский**, исполнительный директор Ассоциации разработчиков и производителей электроники (АРПЭ):

Да, кризис действительно оказался глобальным. На самом деле причин возникновения дефицита две. Первая — по многим направлениям глобальный рынок практически монополизирован либо какой-то компанией, либо рядом компаний. Когда возникают какие-либо проблемы с разрывом поставок, логистические проблемы в период пандемии или просто стихийные бедствия, то нет возможностей эти риски диверсифицировать или заменить поставщика, на поставки которого опирается вся мировая электронная промышленность.

Второе — это пандемия, торговая война США и Китая и их взаимные ограничения, отношения между Россией и США. Все эти факторы приводят к нарушению в цепочках кооперации поставок и, к сожалению, невозможно подстраховаться или заменить одного поставщика другим, слишком высока концентрация рынка в руках доминирующих игроков.

Рынок постепенно выходит из текущей ситуации жесткого дефицита. По оценкам членов нашей ассоциации, уже в 2022-ом или в начале 2023-го года будет легче. Мы надеемся, что не будет новых потрясений.

Но первопричина этой неустойчивости системы остается, поэтому при возникновении новых факторов может быть очередной срыв в жесткий дефицит. Нам необходимо вернуться в прежние времена, когда были поставщики, конкурирующие между собой и когда не было такой критической зависимости от одной компании. На это потребуются годы.

На мой взгляд, текущий дефицит показал не только России, но и всем странам мира, что дальнейшая концентрация риска недопустима, поэтому нужно строить более устойчивую и распределенную систему производства электроники.

**Юрий Панчул**, микроархитектор и проектировщик цифровых микросхем на уровне регистровых передач, разработчик блоков микропроцессорных и графических ядер, а также сетевых микросхем:

В данном случае цикличность полупроводниковой промышленности наложилась на пандемию (COVID-19), из-за чего и возник нынешний кризис. Когда пандемия пойдет на спад, ситуация с кризисом полупроводников нормализуется.

Из-за нынешнего кризиса сейчас компании больше вкладываются в продвинутые разработки, и поэтому образовался дефицит инженеров. Это возможности для стартапа, сейчас индустрия очень «горячая», но следует всегда помнить, что такие периоды быстро проходят, поэтому нужно всегда инвестировать не в текущий горячий тренд, а смотреть с перспективой на будущее. Таких волн будет еще энное количество. Значит, нужно делать такие проекты, чтобы они прошли текущую волну, пережили спад и вошли в следующую.

**Материал подготовила:**  
Алина Винова

# АЛЕКСЕЙ ПЕРЕВЕРЗЕВ



**В ближайшие годы существующее представление о человеческом труде будет кардинально пересмотрено**



---

**Организация:** Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

**Город:** Зеленоград

**Дата основания:** 1965 год

---

**Материал подготовила:**

Алина Винова

---

**Переверзев Алексей Леонидович**  
Проректор МИЭТ по инновационному развитию

**ЦРБТ:**  
**Какие события и/или открытия, на Ваш взгляд, можно выделить в микроэлектронике за последние несколько лет?**

**А. П. :**

Я бы сделал акцент не на отдельных событиях или изобретениях, а на трендах, задающих глобальное развитие отрасли. В этом плане последние годы показательны с точки зрения достижений в поиске путей решения важной проблемы микроэлектроники – кратного повышения отношения скорости обработки информации к затрачиваемой энергии.

Известно, что десятки лет развитие микроэлектроники хорошо описывалось эмпирической закономерностью, сформулированной Гордоном Муром: число транзисторов на кремниевой подложке увеличивается в два раза каждые два года. В совокупности с изысканиями в области оптимизации архитектур вычислителей это давало значительный прирост производительности и снижения энергопотребления. Однако в последнее десятилетие микроэлектронная промышленность достигла ограничений, связанных с длиной волны лазера, применяемого для фотолитографии, и с физическими размерами транзисторов. Фактически, начиная с технологической нормы в 45 нм (анонсированной в 2006 году), повышение плотности достигалось либо за счет изменения структуры транзистора, либо за счет изменения методики расчета плотности. При этом реальная производительность одного вычислительного ядра микропроцессора увеличивалась незначительно. Накопленные ожидания о реальном повышении производительности все чаще заставляют искать новые пути развития.

Одним из таких путей остается совершенствование технологий традиционной кремниевой промышленности. Перспективной технологией, позволяющей сделать новый рывок в уменьшении размеров элементов до единиц нанометров, является GAAFET (Gate-All-Around Field-Effect Transistor) – топология транзистора с круговым затвором и горизонтальным расположением каналов. В мае 2021 года компания IBM объявила о появлении созданных на основе данной технологии тестовых образцов чипа с размером транзистора в 2 нм. Компания Samsung с помощью GAAFET планирует в 2022 году перейти к производству по нормам в 3 нм, а компания Intel объявила о достижении 1,4 нм к 2029 году. Стоит отметить, что вопрос о себестоимости производства, реального повышения скорости вычислений и снижения энергопотребления для серийно выпускаемых микросхем с использованием анонсированной технологии остается дискуссионным.

В условиях, когда практически исчерпаны возможности наращивания производительности за счет повышения тактовой частоты, промышленность все больше прибегает к переосмыслению архитектурных парадигм вычислительных систем. Это касается как традиционных архитектур (например, по-прежнему сохраняются высокие ожидания от архитектуры RISC-V), так и полного изменения принципов обработки информации. По словам Дэвида Паттерсона, одного из пионеров вычислительной техники и создателя архитектуры RISC-V, мы находимся на этапе кардинальной переработки накопленных подходов к созданию вычислительных систем. Эти слова подтверждаются и крупными игроками индустрии. Все чаще при проектировании чипов инженеры

уходят от традиционной концепции главенства одного или нескольких вычислительных ядер, управляющих периферией, в сторону создания на кристалле гетерогенных вычислителей, которые объединяют на одной подложке вычислительные ядра общего назначения и специализированные аппаратные блоки для повышения скорости обработки информации. Помимо ставших уже традиционными аппаратных блоков для цифровой обработки сигналов (DSP), графических ускорителей (GPU), программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и т.д., большую ставку производители делают на нейроморфные сопроцессоры (NPU – Neural Network Unit), архитектура которых имеет сходство с биологическими нейронными сетями и которые предназначены для ускорения работы алгоритмов компьютерного зрения, распознавания голоса, машинного обучения.

Все большее развитие получают **квантовые вычисления**: за 2021 год объем инвестиций в данное направление составил более одного миллиарда долларов, что больше, чем за 2018-2020 годы вместе взятые. И вложенные средства дают свои плоды. Например, в 2022 году в исследовательском центре Юлиха в Германии запущена новая квантовая компьютерная система, которая имеет рекордные 5000 кубит. Данная технология сложна в использовании и не заменит традиционные кремниевые вычислители во всех нишах, однако за счет кратного повышения скорости вычислений в специфических задачах она может обеспечить выход на новый уровень в области криптографии, задачах изучения климата, высокоточном моделировании физических и биологических процессов.

Значимым трендом последних лет является развитие фотоники. Основная идея данной технологии заключается в прямой интеграции оптических каналов связи в кремниевые интегральные схемы. Это поможет значительно повысить скорость обмена информацией в центрах обработки данных, бытовой аппаратуре и телекоммуникациях.

В области силовой и экстремальной электроники сильным направлением остается идея развития мощных транзисторов на основе нитрида галлия (GaN) и карбида кремния (SiC). Основными драйверами здесь выступают электромобили, для эксплуатации и зарядки которых необходимо коммутировать большие токи, и зарядные станции для потребительской электроники.

НИУ МИЭТ совместно с промышленными партнерами активно ведет исследования и разработки как в направлении построения вычислительных систем, в том числе на основе открытых архитектур, так и в развитии технологий микроэлектроники, в частности – интегральной кремниевой фотоники и силовой электроники на основе нитрида галлия и карбида кремния.

**В контексте современного развития потребительской электроники корректно говорить не об отставании или опережении какой-то страны, а о значимости её роли в глобальной производственной цепочке**



**ЦРБТ :**

**Микроэлектроника в РФ сильно отстает по уровню технологии и производства от других стран. На данный момент государство активно помогает развитию микроэлектроники. Как вы думаете, возможно ли сократить отставание от мировой промышленности?**

**А. П. :**

Вопрос отставания России в области технологий и производства микроэлектроники является более сложным, чем кажется на первый взгляд. Его можно рассмотреть с двух сторон: со стороны производства потребительской электроники и со стороны обеспечения безопасности государства.

Со стороны потребительской электроники, в связи с возросшей сложностью изделий, уже давно прошли времена, когда в рамках одной компании или страны был бы реализован полный цикл производства электронной продукции, тут речь и о средствах проектирования и производства, включая технологическое оборудование и расходные материалы. В наше время микроэлектроника является одной из наиболее глобальных сфер деятельности, причем как со стороны производства, так и со стороны сбыта. Условно все компании мира разделены на две группы – это так называемые fables-компании, которые специализируются на создании интеллектуальной собственности, разработке и продаже конечных изделий, и промышленные (fab) компании, специализирующиеся на контрактном производстве. При этом fables-компаний в разы больше, чем компаний-производителей, в том числе они присутствуют и в России.

Передовыми микроэлектронными производствами являются TSMC (Тайвань), SMIC (Китай), Samsung (Южная Корея). Если говорить о технологическом оборудовании для производства, то этот рынок во всем мире фактически разделен несколькими компаниями – это Applied Materials (США), ASML (Голландия), Lam Research (США), KLA (США), Tokyo Electron (Япония). На них приходится 80% рынка производственного оборудования. В части средств проектирования передовыми компаниями являются ANSYS (США), Cadence (США), Synopsys (США).

В контексте современного развития потребительской электроники корректно говорить не об отставании или опережении какой-то страны, а о значимости ее роли в глобальной производственной цепочке. В этом плане Россия, к сожалению, занимает скромные позиции, однако существующий кризис производства полупроводников и инициативы правительства РФ о поддержке электронной промышленности являются хорошим драйвером для более плотной интеграции России в мировую кооперацию. В первую очередь благодаря развитию существующих и созданию новых дизайн-центров (fables-компаний), проектирующих интегральные схемы, в том числе по передовым топологическим нормам.

Многие страны, такие как США, Китай, Евросоюз и др., стараясь обеспечить стратегическую независимость, стремятся локализовать полный цикл производства ключевых компонентов на своей территории для сохранения технологической независимости. Россия здесь не является исключением, и более того, с точки зрения защиты стратегических интересов положение России в микроэлектронике находится на одном уровне с мировыми державами: в России существуют компании, занимающиеся как разработкой (fables), так и производством (fab) основных электронных компонентов.

В 2020 году в России была принята стратегия развития электронной промышленности до 2030 года, которая в краткосрочной перспективе направлена на увеличение доли российской электроники на внутреннем рынке и выход на лидирующие позиции на глобальных рынках в среднесрочной перспективе. Она предусматривает комплексное решение задач по девяти ключевым направлениям: «Научно-техническое развитие», «Средства производства», «Отраслевые стандарты», «Кадры», «Управление», «Кооперация», «Отраслевая информационная среда», «Рынки и продукция» и «Экономическая эффективность». Для реализации данной стратегии в России имеется необходимый интеллектуальный потенциал. Важными аспектами стратегии являются поддержка разработок в области технологического оборудования и средств автоматизированного проектирования, а также развитие сети дизайн-центров и центров коллективного проектирования, вокруг которых образуются структуры, охватывающие весь цикл производства микроэлектроники: от проектирования до выпуска конечных изделий. Такой комплексный подход поможет значительно продвинуться в создании замкнутого технологического цикла разработки микроэлектронной продукции, которая необходима как для стратегических интересов государства, так и для экономического роста.

**ЦРБТ :**

**МИЭТ является базовым университетом в ассоциации вузов, осуществляющих подготовку кадров в области радиоэлектронной промышленности. На данный момент какие задачи стоят перед ассоциацией и над чем вы работаете?**

**А. П. :**

Ассоциация вузов действует уже 6 лет и на данный момент в нее входят 2 научные организации и 30 отечественных университетов, осуществляющих подготовку кадров в области электронной промышленности.

Основной задачей ассоциации является координация усилий по обсуждению и решению проблем, стоящих перед образованием по направлениям подготовки к специальностям, попадающим под сферу интересов Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга

России. Сюда входит большой спектр направлений, включая создание ЭКБ и радиоэлектронной аппаратуры. Основными форматами работы являются расширенные заседания Совета Ассоциации и научно-технические семинары по вопросам применения САПР в микроэлектронике. Помимо членов ассоциации активное участие в заседаниях принимают представители Минпромторга и Минобрнауки. Обсуждаются, во-первых, методические аспекты организации и реализации образовательной деятельности, такие как федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС), профессиональные стандарты, независимая оценка квалификации, вопросы практики и трудоустройства на предприятиях, во-вторых, вопросы содержания учебных планов образовательных программ бакалавриата, магистратуры и ДОП, например, построение новейшей элементной базы на перспективных полупроводниковых материалах (GaN, SiC и др.), применение контрольно-измерительного оборудования, СВЧ интегральные схемы и многое другое.

В 2021 году Ассоциация приняла активное участие в совместном проекте Минпромторга и Минобрнауки, направленном на дооснащение технологических центров и дизайн-центров на базе университетов и научных организаций. Прделана большая работа по сбору и обобщению предложений, в итоге проекты 18 организаций, подготовленные в партнерстве с промышленными предприятиями, были поддержаны. Надеемся, что эта работа продолжится в 2022 году, поскольку создание передовой инфраструктуры в образовательных и научных организациях во многом определяет возможность разработки новых технологий нано- и микроэлектроники, а также подготовки кадров в данной области. Это подтверждается и мировым опытом: наиболее эффективным способом развития технологий является создание на базе ведущих профильных университетов инфраструктуры, которая соответствует или даже опережает по новизне имеющиеся на передовых предприятиях технологии. В части микроэлектроники яркими примерами таких центров на базе университетов являются центры микроэлектроники IMEC (Бельгия), или ITRI (Тайвань) и др.

**ЦРБТ:**

**МИЭТ известен как ведущий ВУЗ по микроэлектронике в России. Что сейчас создается в вузе и как его труды реализуются в экономике страны?**

**А. П. :**

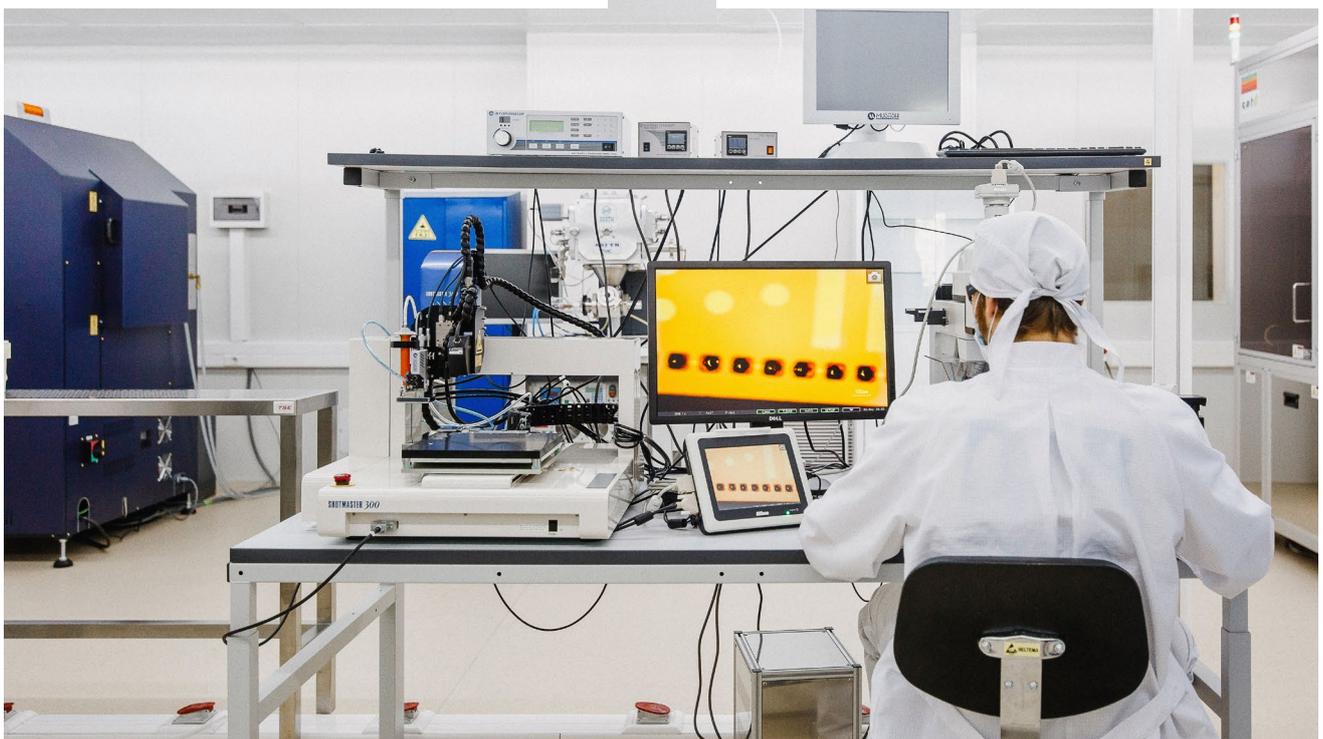
На данный момент НИУ МИЭТ представляет собой,

наверное, одну из самых передовых микроэлектронных технологических площадок в стране. Кооперация между НИУ МИЭТ, АО «ЗИТЦ», АО «ЗНТЦ» и АО «Завод Протон» и налаженное взаимодействие с партнерами, осуществляющими контрактное производство, позволяют организовать сквозной цикл от идеи до производства практически любого функционально законченного изделия в области микроэлектроники. В том числе проектирование интегральных схем, разработку сенсоров, электронных приборов и устройств, СВЧ, биомедицинских приборов и т.д. В инновационном комплексе НИУ МИЭТ также сосредоточено порядка 100 технологических инновационных компаний, работающих в реальных секторах экономики, функционируют 6 центров коллективного пользования и проектирования, ряд дизайн-центров.

В 2018 году при поддержке АО «РВК» на базе НИУ МИЭТ был создан Центр НТИ «Сенсорика», в рамках которого в МИЭТ работает более 15 исследовательских групп. Основными рабочими направлениями центра являются преодоление технологических барьеров дорожной карты НТИ «Технет», в том числе результаты деятельности направлены на решение задач «Аэронет», «Автонет», «Маринет», «Хелснет». В Центре НТИ было создано более 167 результатов интеллектуальной деятельности (РИД), которые в последствии в рамках лицензионных договоров и договорных отчуждений ложатся в основу конечных изделий и приборов.

Например, в Топ-50 проектов «Технологический прорыв 2020» вошел проект «Радиолокационной платформы для дистанционного зондирования Земли с летательных и космических аппаратов». Разработанная платформа представляет собой техническое средство, которое способно с борта беспилотника формировать изображение с помощью излучаемых и принимаемых радиоволн, и может быть полезна в сельском хозяйстве, нефтегазовой отрасли, картографии, ледовой разведке, спасательных операциях и т.д.

В 2021 году премию «Технологический прорыв» получил «Модуль технического зрения для систем автопилотирования и содействия водителю». Данный модуль предназначен для интеграции в автомобили с ADAS и позволяет синхронизировать и обрабатывать видеопотоки от большого числа камер, установленных по периметру автомобиля. Более подробно с перечисленными и другими проектами Центра НТИ «Сенсорика» можно ознакомиться на официальном [сайте](#) МИЭТ.





Помимо этого, в 2020 году при поддержке АО «РВК» на базе НИУ МИЭТ был создан Лидирующий исследовательский центр (ЛИЦ) «Доверенные сенсорные системы». Индустриальным партнером проекта является предприятие АО «Русатом автоматизированные системы управления» (АО «РАСУ»), главным исполнителем – НИУ МИЭТ, а соисполнителями – участники консорциума «Доверенные сенсорные системы»: АО «Лаборатория Касперского», АО «НПЦ ЭЛВИС», ТУСУР, АО «Завод ПРОТОН», АО «ЗНТЦ» и АО «ЗИТЦ». Основной целью деятельности ЛИЦ является создание отечественной доверенной платформы сбора и обработки сенсорной информации. Все ключевые как аппаратные, так и программные компоненты платформы разрабатываются и испытываются в России. Например, в рамках проекта был создан макет граничного шлюза на основе нового процессора АО НПЦ «Элвис» – «СКИФ». В 2021 году на территории АО «СНИИП» (ГК «РОСАТОМ») была успешно проведена апробация разработанных решений.

**ЦРБТ:**

**Расскажите, пожалуйста, для каких целей были созданы сети центров коллективного пользования? И какие существуют условия для других организаций, чтобы воспользоваться услугами ЦКП?**

**А. П. :**

Идея создания сети центров коллективного проектирования микроэлектроники на базе организаций высшего образования появилась в Минпромторг России и Минобрнауки России ещё в 2019 году. Ввиду того, что на этот момент уже была создана и развивалась Ассоциация вузов ЭКБ, было предложено организовать ресурсный центр коллективного проектирования на базе МИЭТ – головной организации в Ассоциации. На протяжении 2020 и 2021 годов выполнялось оснащение ЦКП МИЭТ системами автоматизированного проектирования (САПР) отечественных и зарубежных вендоров, вычислительным оборудованием, средствами телекоммуникации.

Основной целью ЦКП является содействие университетам в практической реализации собственных проектов, связанных с электроникой и микроэлектроникой. Например, если исследовательская группа, научный сотрудник, преподаватель, аспирант или студент одного из отечественных университетов в ходе проведения собственных исследований столкнется с необходимостью разработки интегральной микросхемы, то он может обратиться в ЦКП МИЭТ. Со своей стороны ЦКП предоставит удаленный доступ к лицензионным САПР, используемым для разработки и проектирования, обучит работе в предоставленных САПР, и поспособствует в производстве опытных образцов интегральных схем на российских фабриках.

Услуги ЦКП доступны для университетов, входящих в Ассоциацию вузов ЭКБ, и заключивших с ЦКП договор о предоставлении услуг по модели годового абонемента

на определенный перечень САПР и необходимое количество лицензий. Более подробно с перечнем предоставляемых услуг ЦКП можно ознакомиться на [сайте](#).

На базе ЦКП периодически реализуются программы дополнительного профессионального образования, уже обучено свыше 100 слушателей.

**ЦРБТ:**

**Расскажите пожалуйста об учебных лабораториях в Вашем вузе от Cadence, SIEMENS и Synopsys.**

**А. П. :**

**Cadence.** Образовательный проект между НИУ МИЭТ и компанией Cadence Design Systems (США) был организован в 2002 году по инициативе американской компании Cadence Design Systems – мирового лидера в области разработки инструментов для проектирования интегральных схем. В рамках образовательного проекта осуществляется заказная подготовка студентов и специалистов в области микро- и наноэлектроники. Партнерами проекта и заказчиками кадров являются более 20 предприятий и дизайн-центров. За последние три года обучение в рамках проекта прошло более 200 человек по магистерской программе «Проектирование приборов и систем». Целью программы является подготовка высококвалифицированных кадров в области разработки и проектирования интегральных схем аналогового и смешанного сигналов, а также систем на кристалле.

Дополнительными преимуществами программы является получение сертификата Cadence вместе с государственным дипломом магистра и возможность получения стипендии от предприятий-партнеров. В процессе обучения студенты проходят практику в таких компаниях, как Cadence Design Systems, NXP Semiconductors и ведущих отечественных предприятиях отрасли.

**Synopsys.** В июне 2006 г. по предложению фирмы Synopsys с участием учебного департамента Synopsys-Armenia компании CJSC Synopsys-Armenia был заключен договор с НИУ МИЭТ о создании учебно-научного центра Synopsys-1 и разработке программы подготовки магистров «Автоматизированное проектирование СБИС и систем-на-кристалле». Основной целью УНЦ «Synopsys-1» является создание условий для профессиональной подготовки и переподготовки высококвалифицированных специалистов и развития научной деятельности на базе САПР компании Synopsys в области автоматизации проектирования субмикронных сверхбольших интегральных схем (СБИС) и систем на кристалле.

С 2006 года по настоящее время обучение прошли более 200 специалистов. Им вручены дипломы переподготовки и сертификаты компании Synopsys. Студенты курса на базе центра проходят практическое

обучение, выполняют исследования и выпускные работы. Возможна реализация сквозного маршрута проектирования: приборно-технологическое моделирование, проектирование схем и систем на кристалле, включая схемотехническое проектирование, логический синтез, формальную верификацию, физический синтез, физическую верификацию, экстракцию, статический временной анализ, анализ энергопотребления. Знакомятся с подготовкой данных для проектирования фотомасштабов.

**Siemens.** Учебно-научный центр проектирования «Mentor Graphics – МИЭТ» (Siemens EDA) с момента открытия и начала своей учебной деятельности с 1 сентября 2006 г. занимается задачами подготовки специалистов, способных осуществлять научно-исследовательскую и проектную деятельность в области конструирования и технологии создания электронных средств, комплексной разработке микросистем на базе передовых технологий цифрового проектирования и применения САПР для маршрутов сквозного проектирования электроники. Партнерами являются международная компания Siemens EDA (до 2017 года компания Mentor Graphics) и российские организации АО «Мегратек» (с 2005), АО «Нанософт» (с 2019), ООО «Сименс» (с 2019). Ежегодно на базе УНЦ MG выпускаются более 30 магистров по программе «Комплексное проектирование микросистем средствами Mentor Graphics».

Обучение в магистратуре ориентировано на освоение сквозной технологии проектирования, охватывающей совокупность решений компьютерного проектирования (CAD), математического моделирования и инженерного анализа (CAE), технологической подготовки к производству (CAM) и, безусловно, интеграции с системами управления жизненным циклом изделий (PLM). Отдельные курсы у магистрантов читаются на английском языке, что позволяет совершенствовать язык для участия в международных конференциях, стажировках и в программах «двойных дипломов». Помимо диплома магистры получают международный сертификат Siemens EDA. На базе центра разработаны и успешно проводятся курсы повышения квалификации (в том числе онлайн) и стажировки для сотрудников предприятий на коммерческой основе.

**ЦРБТ :**

**А как по вашему мнению стоит изменить школьную программу для того, чтобы выпускникам проще было поступить и учиться в МИЭТ?**

**А. П. :**

Основными школьными предметами для поступления в МИЭТ на технические направления являются русский язык, математика, физика, информатика, химия. Также при поступлении учитываются индивидуальные достижения абитуриента в процессе обучения в школе. Для того чтобы абитуриентам было проще поступить в МИЭТ, необходимо большее внимание в школьной программе уделять как вышеперечисленным предметам, так и участию школьников в олимпиадах, интеллектуальных и творческих конкурсах, спортивных мероприятиях.

Стоит отметить, что подготовка высококвалифицированных специалистов для дизайн-центров требует фундаментальной подготовки в области математики и физики, поэтому крайне важно уделять внимание этим дисциплинам и выбирать их при поступлении. Для лучшего усвоения профильных предметов, на наш взгляд, целесообразно в рамках школьных программ увеличить долю натуральных экспериментов и обеспечить для этого необходимую материальную базу, ввести в широкую практику программно-аппаратные комплексы и тренажеры, обновить систему

технологического образования, развивать систему школьных технопарков и обеспечить каждому школьнику возможность углубленно изучать любой предмет, в том числе и в онлайн формате с поддержкой университетов.

Абитуриентам может помочь базовое освоение таких прикладных дисциплин, как программирование, аналоговая и цифровая схемотехника, а также знакомство с современными программными и аппаратными инструментами, которые применяются в маршрутах разработки интегральных схем и электронных устройств. Факультативы по данным направлениям проводятся для школьников на базе лабораторий МИЭТ силами профессорско-преподавательского состава. Так же МИЭТ самостоятельно ведёт работу со школами по профориентации и проектной деятельности. Например, НИУ МИЭТ участвует в проведении цикла мероприятий для школьников, студентов, преподавателей школ и университетов в рамках Школы цифрового синтеза. Она создана для быстрой модернизации российского образования в области проектирования цифровых микросхем. Кстати, наш Центр коллективного проектирования также обеспечивает такие мероприятия САПР.

Более подробно с программами для школьников **можно ознакомиться** в специальном разделе на сайте НИУ МИЭТ. В том числе, мы ежегодно проводим научно-практическую конференцию для школьников «Творчество юных», куда подаются ребята из регионов, и в этом году мы также приглашаем ребят поучаствовать.

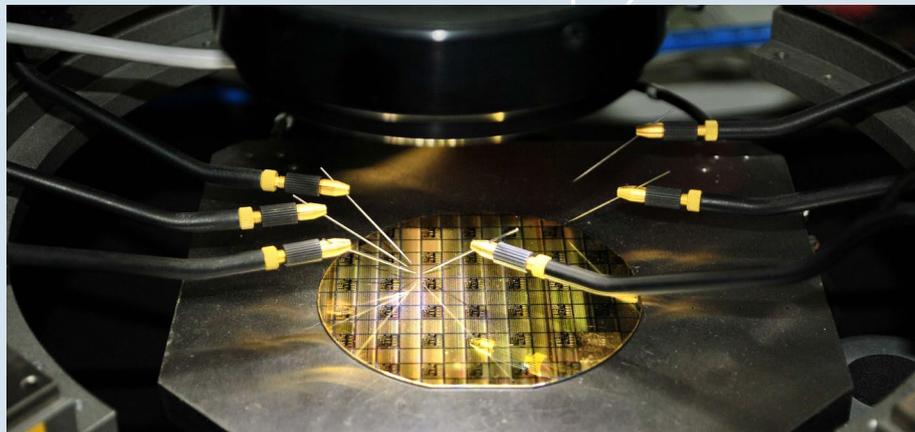
**ЦРБТ :**

**Какие возможности для профессионального роста существуют в вашем учебном заведении для будущих специалистов?**

**А. П. :**

Профессиональный рост в университете возможен по трем, не исключаящим друг друга направлениям: научно-исследовательская, инновационная и педагогическая деятельность.

Научно-исследовательская деятельность университета осуществляется более чем 30 научно-исследовательскими подразделениями, которые выполняют НИОКР по различным направлениям. В рамках программы развития университета до 2030 года на базе данных подразделений будут созданы новые сетевые лаборатории по таким направлениям, как «Электроника на новых физических принципах», «Природоподобные и синхротронные технологии», «Имплантируемые электронные системы, биомедицинская электроника и биосовместимые материалы», «Интеллектуальные информационно-управляющие системы». И, конечно же, в существующие и вновь создаваемые лаборатории привлекаются, в том числе лучшие выпускники МИЭТ.





По направлению инновационной деятельности наши учащиеся под руководством преподавателей и инженеров могут пройти путь от самостоятельных НИР, таких как «Умник» и «Умник. Электроника», до создания своих малых инновационных предприятий в рамках программы «Техностарт». Каждый студент в процессе обучения может описать свой проект, подать заявку и получить финансирование на проведение собственных исследований. При этом университет будет оказывать содействие как в предоставлении лабораторного оборудования, так и в руководстве по проведению НИР.

Для тех, кто после опыта прохождения педагогической практики в магистратуре решил связать свою дальнейшую профессиональную жизнь с преподаванием, есть возможность перенимать опыт у действующих профессоров университета в рамках обучения в аспирантуре, участвовать в разработке учебных материалов, вести лабораторные работы и семинары.

**ЦРБТ :**

**Есть ли возможности у студентов в ходе учебы заниматься практическими исследованиями?**

**А. П. :**

Прохождение практики является важной составляющей образовательного процесса для студентов старших курсов, это заложено в учебных программах.

Задания на практику, как правило, выдаются организациями-партнерами, в том числе ведущими компаниями в области микроэлектроники, и согласовываются с МИЭТ. Так же при желании учащийся может пройти практику в рамках одного из научно-исследовательских подразделений университета. Научные коллективы университета доброжелательно и с большим энтузиазмом относятся к студентам, присоединяющимся к работе.

**ЦРБТ :**

**В какие организации ваши выпускники идут работать? Есть ли за рубежом спрос на ваших выпускников?**

**А. П. :**

Основными направлениями трудоустройства выпускников университета являются Зеленоградские предприятия научно-исследовательского и производственного комплекса в области микроэлектроники и российские предприятия, специализирующиеся на разработке в IT-области. Если говорить о спросе на наших студентов за рубежом, то он, конечно же, есть. Работая на зарубежных компаниях, выпускники часто получают предложения

о переезде. Более того, практически в любом крупном центре микроэлектроники работают выпускники МИЭТ: и в Кремниевой долине, и в Тайване, и в Европе.

Также хотелось бы отметить, что наши студенты востребованы как обучающиеся и молодые исследователи. За рубежом наши выпускники продолжают обучения в рамках магистратуры и аспирантуры, а также участвуют в совместных исследованиях с иностранными коллегами по таким направлениям, как Advanced electronics, Telecommunications, Computer science, Applied mathematics, New Materials и т.д.

**ЦРБТ :**

**Сегодня активно обсуждается вероятность исчезновения некоторых специальностей. Какие специальности, по вашему мнению, исчезнут, а какие будут востребованы на рынке в будущем? А какие новые специальности вскоре появятся?**

**А. П. :**

В последнее время все большую роль в вопросах как исчезновения, так и появления новых специальностей играет вычислительная техника и IT-область в целом. Достигнутые результаты в повышении скорости обработки данных, глобальном развитии интернета, создании новых систем управления и искусственного интеллекта, сенсорики и исполнительных устройств позволяют во многих процессах постепенно отказываться от участия человека. И в ближайшие годы существующее представление о человеческом труде будет кардинально пересмотрено.

В первую очередь с помощью вычислительной техники замещаются специальности, которые связаны либо с опасной, либо с популярной, но рутинной работой, которую возможно запрограммировать. Уже сейчас мы можем наблюдать активные стремления и первые результаты в областях создания автоматических сборочных линий, интеллектуальных систем управления автотранспортом, голосовых и текстовых помощников на основе нейронных сетей, интеллектуальных систем обеспечения городской инфраструктуры и т.д.

Однако для создания и внедрения передовых технологий требуется большое количество новых специальностей. Первым принципиально важным ключом к автоматизации любой деятельности является возможность её формального описания, что порождает потребность в накоплении большого числа информации о

прикладных областях и её последующего исследования и анализа. Уже сейчас мы можем наблюдать большой спрос на специалистов, разрабатывающих инструменты для сбора, разметки и анализа больших массивов данных. Помимо этого, на основе собранных и проанализированных данных требуется программная реализация алгоритмов, что порождает большой спрос на специалистов в области программирования, машинного обучения, искусственных нейронных сетей и IT в целом. Созданное программное обеспечение должно исполняться на вычислительных устройствах и взаимодействовать с внешней средой, что порождает спрос на специалистов в области проектирования и разработки аппаратного обеспечения, роботизированных систем, сенсоров, элементной базы.

В среднесрочной перспективе будут сильно востребованы профессии, которые представляют собой деятельность на стыке дисциплин. В подавляющем большинстве одной из дисциплин будет специализация в области компьютерных наук, а второй специализацией – прикладная область, для которой разрабатывается техническое решение. Например, это могут быть такие профессии, как инженер-генетик, агрокибернетик, экоаналитик в добывающих областях. Фокус деятельности человека в большей степени сместится в сторону управления созданными техническими системами и все больше будет представлять собой интеллектуальную и творческую деятельность. При этом непрерывное совершенствование технических систем будет обеспечиваться усложнением существующих и созданием новых технологий. И для этих задач будут крайне востребованы люди с фундаментальной подготовкой в области математики и физики, в том числе специалисты в области нано- и микроэлектроники.

**ЦРБТ :**

**Есть ли у МИЭТ опыт организации стартапов и фондов вместе с вашими выпускниками?**

**А. П. :**

Да, МИЭТ ведет активную работу в направлениях развития фондов и культуры создания стартапов. В 2013 году по инициативе выпускников МИЭТ была создана Ассоциация выпускников – некоммерческая организация, которая призвана наладить плодотворное общение между университетом, его выпускниками и студентами. Деятельность ассоциации направлена на формирование сильного делового кластера, позволяющего выпускникам разных лет находить партнёров для своего бизнеса, решать кадровые вопросы, способствовать реализации проектов выпускников и росту их личных достижений. Успешные мизтовцы активно участвуют в проектах Ассоциации и университета, передают знания молодёжи и осуществляют менторство на пути построения бизнеса. Создаются различные коллаборации и появляются интересные проекты.

В 2016 году также по инициативе выпускников был учреждён Фонд развития МИЭТ. Фонд целевого капитала – это не только стабильное будущее университета, но и определённый уровень признания и доверия со стороны выпускников и партнёров. Формирование целевого капитала осуществляется Фондом в целях использования дохода от управления капиталом для поддержки проектов развития научно-исследовательской и образовательной деятельности МИЭТ; содействия в коммерциализации студенческих разработок; финансирования международных научных обменов; поддержки молодёжных инициатив, а также учреждения именных стипендий.

Для развития стартап культуры в университете создана преакселерационная программа, которая представляет

**Среди зарубежных вузов-партнеров можно отметить: Glyndwr University (Великобритания), Universidade Nova de Lisboa (Португалия), Technische Universitat Munchen (Германия), Universitat Politecnica de Catalunya (Испания), Linnaeus University (Швеция), Universidade de Aveiro (Португалия), Politechnika Łódzka (Польша), Hochschule Bonn-Rhein Sieg (Германия), Universita della Calabria (Италия).**

собой курс по подготовке стартапов к выходу на рынок. Совместно с Фондом содействия инновациям НИУ МИЭТ организует конкурсы «Умник – Электроника» и «Электроника – Команда» для талантливой молодежи, которая желает получить финансирование под собственные проекты, использующие сквозные цифровые технологии в области микроэлектронной промышленности, создания и развития электронной компонентной базы, устройств сенсорики и радиоэлектронной аппаратуры. Также в рамках обучения магистратуры для студентов читается курс «Технологическое предпринимательство».

За последнее время совместно с НИУ МИЭТ создано 86 инновационных технологических компаний, в том числе 36 стартапов.

**ЦРБТ :**

**Какие задачи и цели стоят перед вузом в ближайшие годы?**

**А. П. :**

В университете принята программа развития до 2030 года, ключевым треком которой является кадровое и научно-технологическое обеспечение электронной промышленности. Реализация целей Стратегии развития отрасли требует подготовки значительного количества высококвалифицированных разработчиков электронной компонентной базы и аппаратуры, технологов и специалистов в области создания технологического оборудования.

МИЭТ продолжит развитие заказной подготовки кадров по этим направлениям в партнерстве с отечественными предприятиями и мировыми лидерами в области ЭКБ, САПР, технологического, измерительного и испытательного оборудования. На базе Центра коллективного проектирования будет развиваться система проектной подготовки междисциплинарных команд для дизайн-центров, на практике осваивающих технологию сквозного проектирования конечных изделий электроники. Важной перспективой развития проекта является создание аналога программы Europractise в части организации экспериментального производства на отечественных предприятиях.

Важным инфраструктурным проектом является переоснащение технологического модуля НИУ МИЭТ, на базе которого будут развиваться различные технологические услуги и сервисы центра фотошаблонов, технологических линий с широким набором опций, центра 3D-интеграции кристаллов.

С использованием этой инфраструктуры запланирована реализация амбициозных научных и прикладных проектов в области базовых технологий нано- и микроэлектроники, электронного машиностроения, архитектурных решений для встраиваемых систем, комплексов информационного обмена и радиолокационного дистанционного зондирования земли, имплантируемых в организм человека медицинских микроэлектронных систем.



### «Росэлектроника» создала кремний из российских материалов для производства электронных приборов

Холдинг «Росэлектроника» представил на выставке «Иннопром-2022» образец монокристаллического кремния, который создан полностью из российских материалов. Технология позволит импортозаместить иностранное сырье при производстве электронных силовых приборов.

Материал создается в несколько этапов. Вначале из порошка металлургического кремния или из диоксида кремния синтезируется моносилан, из которого, в свою очередь, получают поликристаллический кремний. Именно на основе этого полуфабриката создается монокристаллический кремний.



### В России стартовало запланированное строительство фабрики, на которой будут выпускаться микропроцессоры по технологии 28 нм.

Производство планируют наладить в Зеленограде. Строительство подобной фабрики прописано в стратегии развития радиоэлектронной промышленности до 2030 г., которая была утверждена в 2020 г. Новый микроэлектронный завод строят рядом с «Ангстремом». Застройщиком выступает Международный научно-технологический центр (МНТЦ) МИЭТ, созданный на базе университета в 2020 г. для формирования научно-учебного и опытно-производственного кластера рядом с университетом.



### В России представлен титановый ноутбук на отечественном «Байкале-М»

Омская компания «Промобит» рассказала о ноутбуке на основе отечественного процессора «Байкал-М» – Bitblaze Titan BM15. Модель Bitblaze Titan BM15 получит 15,6-дюймовый экран с матрицей IPS разрешением 1920 x 1080 пикселей, 8-ядерный процессор «Байкал-М» с интегрированной графикой, 16 Гб оперативной памяти и твердотельный накопитель объемом 256 или 512 Гб.

# СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

## РОССИЯ

На настоящий момент определяющим документом в сфере электронной промышленности является Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года.

Стратегия была подготовлена Минпромторгом в соответствии с поручением Президента России и утверждена 17 января 2020 года.

### ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ СТРАТЕГИИ

создание конкурентоспособной отрасли на основе развития научно-технического и кадрового потенциала, оптимизации и технического перевооружения производственных мощностей, создания и освоения новых промышленных технологий, а также совершенствования нормативно-правовой базы для удовлетворения потребностей в современной электронной продукции.

### ЗАДАЧИ СТРАТЕГИИ

- Создание рыночного спроса на разработку и производство электронного оборудования
- Создание национальной системы стандартов, адаптированной к международным требованиям
- Разработка инструментов коммерциализации инновационных решений, а также регулирования рынков
- Развитие комплекса дизайн-центров по приоритетным технологиям
- Поддержка инициативных научно-технологических и экспортоориентированных проектов
- Совершенствование нормативной правовой среды
- Развитие доступной отраслевой информационной среды

### ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ

#### I ЭТАП

(2018 - 2020 годы)

#### ТРАДИЦИОННЫЕ РЫНКИ

Коммерциализация текущего технологического задела

#### II ЭТАП

(2021 - 2025 годы)

#### НОВЫЕ РЫНКИ

Создание прикладных решений для «новых» рынков

#### III ЭТАП

(2026 - 2030 годы)

#### РЫНКИ БУДУЩЕГО

Выпуск не имеющих аналогов продуктов для «рынков будущего»

На момент утверждения стратегии (январь 2020 года), состояние электронной промышленности РФ оценивалось следующим образом:

- Более 2,8 млрд руб. – объем российского рынка радиоэлектроники по итогам 2019 года;
- 1,8% – доля электронной промышленности в ВВП Российской Федерации, 60 - 80% – уровень добавленной стоимости;
- Около 1600 - 1700 организаций – общее количество организаций и объединений в этой сфере;

Стратегию планируется реализовывать в три этапа:

#### I ЭТАП (2020 - 2021 годы)

Увеличение доли российской электроники на внутреннем рынке в основном за счет традиционных рынков и участия в реализации национальных проектов; подготовку активного продвижения на международные рынки, включая такие аспекты, как технологический базис, правила игры, бизнес-модели, продуктово-сервисные предложения, диверсификация инвестиций.

#### II ЭТАП (2022 - 2025 годы)

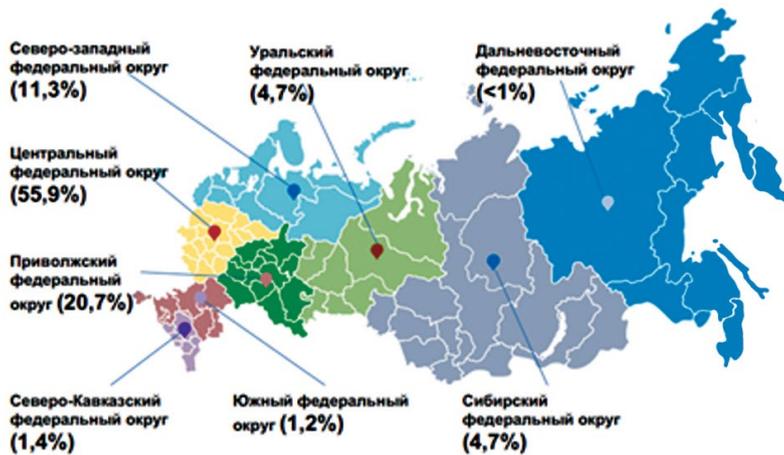
Продвижение российской электроники на существующие рынки и выход на новые международные рынки, включая комплексные предложения и партнерства с иностранными партнерами, а также увеличение масштабов инвестиционных проектов.

#### III ЭТАП (2026 - 2030 годы)

Устойчивый рост отрасли и обеспечение ее лидирующих позиций на перспективных рынках; обеспечение глобального технологического лидерства и акцент на приоритетных аспектах развития.

Крупнейшие организации отрасли расположены в Центральном, Приволжском, Северо-Западном, Уральском, Сибирском, Южном, Северо-Кавказском и Дальневосточном федеральных округах;

Основными производителями микроэлектронной продукции национального уровня являются организации Государственной корпорации по содействию разработке, производству и экспорту высокотехнологичной промышленной продукции «Ростех».



В стратегии указывается, что электронная промышленность за период 2008-2018 года показала **положительную динамику развития** за счет успешной реализации основных мероприятий. **Стратегии развития электронной промышленности России на период 2025 года**, в том числе государственной программы Российской Федерации **«Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности»**.

**В период 2008 - 2018 годов ряд показателей развития отрасли имели положительную динамику:**

- 1868 млрд. рублей – объем выручки организаций отрасли;
- 50,3% – доля гражданской продукции в общем объеме производства промышленной продукции (по выручке);
- 31% – доля гражданской электронной продукции, произведенной российскими организациями отрасли, в общем объеме внутреннего рынка электроники (по выручке);
- 50,8% – доля электронной продукции, произведенной российскими организациями отрасли, в общем объеме внутреннего рынка электроники (по выручке);

- 4,8 млн. рублей – выработка продукции на 1 сотрудника;
- 4160 млн. долларов – объем экспорта российской электронной продукции (рост в 4,4 раза по отношению к аналогичному показателю по результатам 2008 года);
- производительность труда производственного персонала увеличилась в 4,3 раза, отраслевая выручка - в 5,6 раза по отношению к аналогичным показателям по результатам 2008 года.

Тем не менее общий показатель экспорта очень мал: **за границу отправляется меньше 1% отечественного электронного оборудования**. Также сохраняется преобладающая (более 90%) доля военной продукции в общем объеме выпуска электроники.

**Установлены целевые показатели развития отрасли к 2030 году**

**3,5%** доля выручки от реализации российской электронной продукции в валовом внутреннем продукте страны;

**59,1%** доля электронной продукции, произведенной российскими организациями отрасли, в общем объеме внутреннего рынка электроники (по выручке);

**57,4%** доля гражданской электронной продукции, произведенной российскими организациями отрасли, в общем объеме внутреннего рынка электроники (по выручке);

**12,5 млн рублей** выработка продукции на 1 сотрудника в электронной промышленности.

Стратегией предусматривается комплексное решение задач по девяти ключевым направлениям: «Научно-техническое развитие», «Средства производства», «Отраслевые стандарты», «Кадры», «Управление», «Кооперация», «Отраслевая информационная среда», «Рынки и продукция» и «Экономическая эффективность».

Стратегия также определяет основные научно-технические индикаторы развития отрасли, в том числе:

- разработать и промышленно освоить технологии создания и производства цифровой электроники (процессор, контроллер, память) и системного программного обеспечения, силовой электроники, радиоэлектроники;

- разработку изделий по кремниевой технологии с топологической нормой 5 нм с последующим выпуском изделий на их основе на зарубежных фабриках и переносом производств в Российскую Федерацию;
- технологии шифрования и криптозащиты, включая аппаратную реализацию технологий блокчейна;
- разработать и промышленно освоить ключевые технологии и производства: полупроводниковых материалов во всех необходимых формах;
- технологии производства сверхвысокочастотных монолитных интегральных схем и полупроводниковых приборов;
- ожидается увеличение доли российской компонентной базы в микроэлектронике с нынешних 20% до 80% к 2030 году.

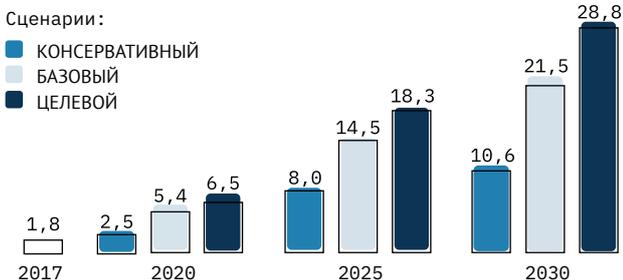
Среди приоритетных направлений развития упомянуты следующие:

- модернизировать отраслевую систему стандартов в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям и организационным процессам;
- обеспечить разработку национальных стандартов по перспективным видам электронной продукции с последующей их трансформацией в международные;
- обеспечить преимущественное использование микроэлектроники и программного обеспечения российского производства при установлении требований (стандартов) к цифровым технологиям.

Развитие отрасли тесно связано с развитием российской экономики. В качестве основы для формирования сценариев развития отрасли использованы основные параметры прогноза социально-экономического развития страны. Исходя из макроэкономических и отраслевых предпосылок рассматриваются 3 сценария развития электронной промышленности - консервативный, целевой и инновационный, однако в Стратегии **за основу берется целевой сценарий развития электронной промышленности**. Он характеризуется стабильной ситуацией на внутреннем рынке и среднегодовым ростом российской экономики на уровне 3,1-3,2% до 2030 года. Государство будет сокращать низкоэффективные затраты и перераспределять высвободившиеся средства на инвестиционные цели. Также он предполагает активное импортозамещение, что будет стимулировать разработку новой электронной продукции с приоритетом проектов, имеющих большое значение для инфраструктуры и обладающих экспортным потенциалом.

По имеющимся данным на июнь 2022 года изменение политической ситуации в мире не ведёт к пересмотру стратегии, поскольку целевой сценарий развития позволяет корректировать цели, определяя адекватные решения на текущие вызовы.

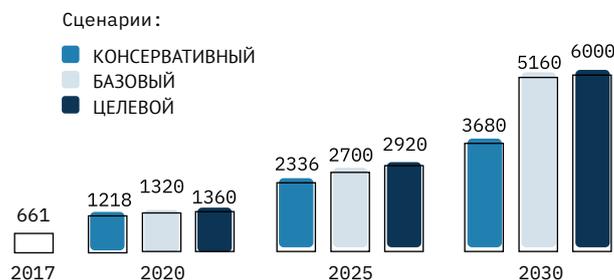
**ДОЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ, ПРОИЗВЕДЕННОЙ РОССИЙСКИМИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ И НАУЧНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, В ОБЩЕМ ОБЪЕМЕ ВНУТРЕННЕГО РЫНКА ЭЛЕКТРОНИКИ, %**



## РЕЗУЛЬТАТЫ СТРАТЕГИИ (2030 Г.)



**ОБЪЕМ ПРОИЗВОДСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ, ПРОМЫШЛЕННЫМИ И НАУЧНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, МЛРД РУБ.**

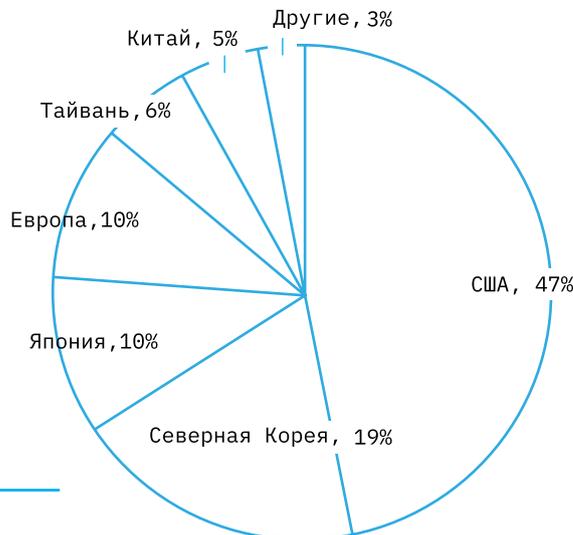


Источник: Минпромторг

## Зарубежные стратегии

Известный специалист в области микроэлектроники Стивен Эзелл на сайте американского аналитического центра The Information Technology and Innovation Foundation (ITIF) опубликовал свою статью [An Allied Approach to Semiconductor Leadership](#) («Международное сотрудничество как основа лидерства в микроэлектронике»).

Стивен Эзелл рассматривает стратегии развития микроэлектроники ряда стран. Российская микроэлектроника в американской статье отдельно не выделяется.



Доля рынка продаж полупроводниковой промышленности в мире в 2019 г.



## США

Существует ряд программ исследований и разработок в области полупроводников, которые осуществляются различными государственными учреждениями. Действия администраций в сочетании с повышенным вниманием со стороны Конгресса позволяют предположить, что Соединенные Штаты серьезно относятся к укреплению своей конкурентоспособности в области полупроводников. Несмотря на это, до настоящего времени политика и программы Америки в области полупроводников были разрозненными и недостаточно финансировались. Страна выигрывает от регулярно обновляемой комплексной национальной стратегии повышения конкурентоспособности полупроводников. Стивен Эзел рассматривает сектор полупроводников как одну из самых важных отраслей на сегодняшний день. Для развития микроэлектроники он выделяет такие рекомендации, как:

- создать институты производства США, которые поддерживают инновации в полупроводниковой промышленности;
- расширить международное сотрудничество в полупроводниковом секторе государственно-частного партнерства;
- работать над более эффективной координацией программ НИОКР в области полупроводников, проводимых различными государственными учреждениями;
- изучить вопрос об утверждении более гибких федеральных правил заключения контрактов;
- пригласить другие страны-союзники к совместному инвестированию в полупроводниковые проекты;
- изучить дополнительные возможности для включения коллег из союзных стран в программы доверенных литейных производств, при этом союзные страны будут действовать на взаимной основе для своих соответствующих программ;
- изменить свои принципы закупок, добавив четвертый ключевой элемент — безопасность — в дополнение к традиционным стандартам цены, стоимости и качества;
- повысить авторитет Всемирного совета по полупроводникам (WSC);
- разработать союзнический подход для расширения рыночных подходов к торговле в Индо-Тихоокеанском регионе.



## КИТАЙ

В июне 2014 года китайское правительство опубликовало **«Руководство по развитию национальной индустрии интегральных схем» («Китайский национальный план ИС»)**, где призывает центральные, провинциальные и муниципальные органы к инвестициям в размере 150 миллиардов долларов для содействия развитию полупроводниковой экосистемы с замкнутым циклом в Китае. Основываясь на этот план, Китай хочет, чтобы к 2025 году 70% полупроводниковых микросхем, используемых работающими в Китае компаниями, производились внутри страны. В начале 2020 года Министерство промышленности и информационных технологий Китая объявило о компании «Новая инфраструктура», направленной на то, чтобы в течение следующих пяти лет инвестировать не менее 1,4 триллиона долларов в ИИ, центры обработки данных, мобильную связь и другие проекты. Это важно для полупроводникового сектора Китая, так как инвестиции, которые будут сделаны через фонд, пойдут на цифровые технологии с использованием полупроводников китайского производства.

По состоянию на 2019 год на Китай приходилось 17% мирового производства полупроводниковых микросхем, и ожидается, что к 2030 году эта доля увеличится до 28%, так как Китай уже сейчас финансирует строительство более 60 новых полупроводниковых заводов.

Как отмечает Эзелл, Китай рассматривает полупроводниковый сектор как стержень своего цифрового развития и доказал свою готовность использовать все имеющиеся в его распоряжении инструменты в своих усилиях по развитию полупроводниковой промышленности мирового уровня.



## ЕВРОПЕЙСКИЙ СОЮЗ

Уже в мае 2013 года Европейская комиссия объявила о принятии общеевропейской стратегии в отношении микро- и нанoeлектронных компонентов и систем. По плану реализации стратегии европейские компании и правительства должны были «инвестировать не менее 35 миллиардов евро (41,4 миллиарда долларов) в этот сектор к 2025 году». В 2014 году в поддержку этой стратегии на европейском уровне были запущены два новых инструмента: совместное предприятие **«Электронные компоненты и системы для европейского лидерства» (ECSEL) и IPCEI.**

На сегодняшний день 2,6 миллиарда евро было инвестировано в 51 проект ECSEL с участием более 1600 организаций, занимающихся исследованиями, разработками и конечными пользователями, в совместных исследованиях и инновациях.

В 2018 году комиссар ЕС по цифровой экономике и обществу Мария Габриэль заказала исследование «Развитие цепочек создания стоимости электроники в Европе». В итоговом документе о стратегии был изложен восьмизападный план действий по оживлению европейской конкурентоспособности в области электроники и микроэлектроники:

- 1 / Расширение европейской модели успеха партнерства.
- 2 / Продолжать инвестировать в сильную промышленность по производству микроэлектроники.
- 3 / Создать программу стратегического суверенитета.
- 4 / Создать плавный путь инноваций от ИС к продуктам.
- 5 / Преследовать стратегические проектные инициативы.
- 6 / Создание инструментов проектирования для электронных цепочек добавленной стоимости.
- 7 / Создать целевую группу по электронному обучению и навыкам.
- 8 / Создать общеевропейскую исследовательскую инфраструктуру для передовых вычислительных технологий.

В конце 2018 года Европейская комиссия утвердила **«Важный проект общего европейского интереса (IPCEI) в области микроэлектроники»**, который будет способствовать реализации проектов транснационального сотрудничества в области микроэлектроники в четырех европейских странах: Франции, Германии, Италии и Объединенное Королевство. Программа предполагает использование государственной помощи для повышения конкурентоспособности промышленности микроэлектроники. Сообщается, что финансирование IPCEI поступило от самих стран-участниц, а не от Европейского Союза.



## ЯПОНИЯ

Полупроводниковая промышленность Японии в последние годы находилась в упадке. Это может быть связано с медленным принятием Японией модели Fables-Foundry, а также сектором ИКТ Японии, который имел тенденцию изолироваться от мировых рынков, страдая от «Галапагосского синдрома» рыночной и технологической изоляции.

Сейчас Япония занимает 1 место в топ-15 мировых продаж полупроводников. Министерство экономики, торговли и промышленности Японии признало промышленные недостатки (в том числе в полупроводниковой промышленности) в отчете 2016 года, озаглавленном **«Инициативы по содействию инновациям»**. Для решения этих проблем Япония приняла Закон о промышленной конкурентоспособности и подготовила Стратегию возрождения Японии, которая направлена на «оживление японской экономики и повышение промышленной конкурентоспособности предприятий, ведущих бизнес в Японии». В 2015 году появилась обновленная версия стратегии **«Общество 5.0»**, которая формулирует видение страны в отношении будущей цифровизации, и призывает Японию стать ведущим производителем полупроводников для «специализированных приложений ИИ».



## ЮЖНАЯ КОРЕЯ

В 2019 году Министерство торговли, промышленности и энергетики Южной Кореи (MTIE) запустило новую стратегию повышения конкурентоспособности полупроводников, которая направлена на то, чтобы сделать страну ведущим конкурентом, и поэтому инвестирует 1 триллион вон (830 миллионов долларов США) в течение следующих 10 лет в разработку устройств следующего поколения. Стратегия также предусматривает разработку совместной платформы под названием **«Альянс 2.0»**, в которую войдут 25 частных и государственных организаций в областях, где существует высокий спрос на системные полупроводники или где южнокорейские компании могут обеспечить конкурентоспособность в короткие сроки, сосредоточив внимание на пяти основных стратегических областях: автомобили, биотехнологии, энергетика, бытовая техника на основе Интернета вещей, машины и роботы. План призывает Южную Корею к 2030 году иметь 10% доли рынка в секторе проектирования микросхем в дополнение к сохранению лидирующих позиций в производстве полупроводниковых микросхем памяти.

Кроме того, в июле 2020 года МТИЕ объявило, что Южная Корея инвестирует более 5 триллионов вон (4,1 миллиард долларов США) в материалы, запчасти и оборудования для обеспечения стабильных поставок для ключевых экспортеров страны. Из этой суммы выделяется 2 триллиона вон (1,6 миллиарда долларов США) на 3 наиболее значимые отрасли в 2021 году, включая полупроводники, биотехнологии и мобильность будущего.

Материал подготовили:  
Алина Винова, Лейсан Василова

# ПАТЕНТНЫЙ ОБЗОР

## «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА В ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ»

Патентный обзор был подготовлен с целью анализа патентной активности и выявления тенденций развития микроэлектроники в промышленной робототехнике. В патентном обзоре представлены сведения о ключевых тенденциях развития исследуемой отрасли, ведущих компаниях-разработчиках, анализ в разрезе ведущих стран, рынков и областей применения технологий и продуктов, относящихся к тематике микроэлектроники в промышленной робототехнике.

Проведенный патентный поиск и анализ полученных материалов был сформирован посредством программного продукта Orbit Intelligence, Insight за 20-летний период. Поиск проводился по заголовкам, аннотациям (рефератам), независимым пунктам формулы изобретений и полезных моделей. Представленные результаты поиска были сформированы в контексте патентных семейств. Патентные семейства являются совокупностью всех патентных публикаций, относящихся к одному изобретению. Такие семейства, как правило, имеют более высокую значимость, говорят о ценности технических решений, о наличии стратегии коммерциализации этих решений и выводе на рынок продукции, изготовленной по патентам, имеющим охрану в нескольких странах/регионах мира.

Для целевого анализа технических решений в области микроэлектроники в промышленной робототехнике нами был сделан целевой запрос, который включал в себя следующие ключевые слова:

- MICROELECTRONICS / Микроэлектроника робот
- SEMICONDUCTORS / Полупроводники
- NANOELECTRONICS / Наноэлектроника
- RADIO ELECTRONICS / Радиоэлектроника
- OPTOELECTRONICS / Оптоэлектроника
- MICROCHIP (MICROCIRCUIT) / Микросхема
- MICROPROCESSOR / Микропроцессор
- MICROCHIPS / Микрочипы
- DRAM/ SRAM/ Память

- TRANSISTORS / Транзисторы
- RESISTORS / Резисторы
- DIODES / Диоды
- MICROCONTROLLERS / Микроконтроллеры
- PROCESSOR MICROARCHITECTURE / Микроархитектура процессора
- CRYSTAL (MICROELECTRONICS) / Кристалл (микроэлектроника)
- GERMANIUM / Германий
- SILICON / Кремний
- GALLIUM / Галлий
- INDUSTRIAL ROBOT / Промышленный робот
- SPHERICAL MANIPULATOR / Сферический манипулятор
- CYLINDRICAL MANIPULATOR / Цилиндрический манипулятор
- ARTICULATED ROBOTIC MANIPULATORS / Шарнирные роботизированные манипуляторы
- COLLABORATIVE ROBOTS / Коллаборативные роботы
- CARTESIAN ROBOTS / Декартовы роботы
- SCARA ROBOTS / Шарнирно-сочлененный робот с избирательной податливостью манипулятора
- DELTA ROBOTS / Дельта роботы

### ДИНАМИКА ПАТЕНТОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

При проведении анализа было выявлено 11552 патентных семейств, относящихся к микроэлектронике в промышленной робототехнике. Ниже представлена динамика патентной активности за период с 2001 по 2020 гг.

Из рис. 1 следует, что технологический стек по разработке микроэлектроники в промышленной робототехнике находится на стадии активного освоения – создаются новые технические решения для внедрения в реальные сектора экономики. Аналогичную точку зрения наблюдают и в обзоре TAdviser «Российский рынок промышленной робототехники 2021» [3], в котором делается вывод, что в России ситуация на рынке промышленной робототехники в целом позитивная.

Уже несколько лет рынок демонстрирует ежегодный рост в несколько десятков процентов. А если рассматривать ситуацию с 2010 года, темпы роста российского рынка выросли более чем в 6 раз.

Ежегодное значительное повышение патентной активности свидетельствует о высокой востребованности разработок в области микроэлектроники для промышленной робототехники. Также можно выделить то, что статистика за 2020 г. сформирована не полностью и значение, указанное на диаграмме, вполне может вырасти процентов на 10 к середине 2022 г. Это связано со сроками рассмотрения международных заявок.



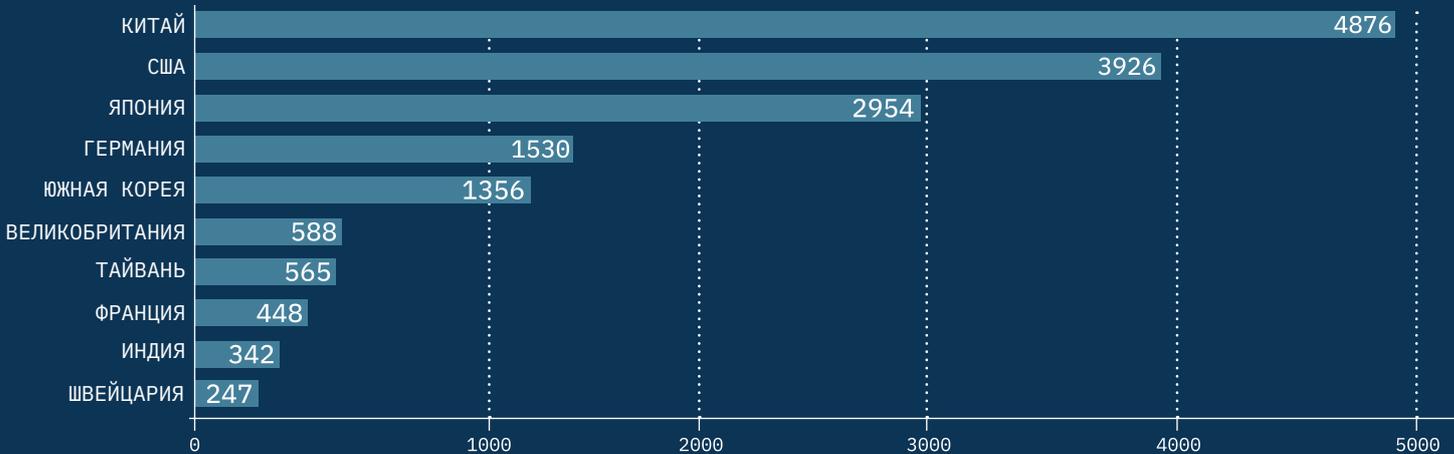
Рис. 1. Динамика патентования за период с 2001 по 2020 гг.



На рисунке 2 представлена диаграмма по количеству действующих патентов, защищаемых в различных национальных ведомствах (Топ-10). Из диаграммы рисунка 2 были исключены следующие патентные ведомства – Всемирная организация интеллектуальной собственности (ВОИС) и Европейское патентное ведомство (ЕПВ), так как заявки, поданные в такие патентные ведомства, не отражают статус о конечной стране, где охраняется техническое решение.



Рис. 2. Диаграмма по количеству действующих патентов, защищенных в различных национальных ведомствах



Как мы видим из диаграммы, значительная часть найденных патентных семейств охраняется на территории Китая, а в таких промышленно развитых странах, как США, Япония и Германия, известных своими производителями микроэлектроники и промышленных роботов, охраняется меньшее число решений. Одна из причин этого заключается в том, что национальная политика по интеллектуальной собственности в Китае направлена на увеличение количества патентных заявок, и Всемирная организация интеллектуальной собственности ежегодно отмечает рост заявок из данной страны по всем технологическим направлениям с высоким уровнем его инновационности в сочетании с самой большой численностью населения. Вместе с тем следует отметить, что хотя Китай и лидирует со значительным отрывом – охраняемых патентных семейств там почти на 30% больше, чем в находящихся на втором месте США – в действительности значительная доля патентов в нем принадлежит компаниям из других стран, которые производят и реализуют свою продукцию на территории Китая и поэтому заинтересованы в охране своих решений в этой стране. В свою очередь, китайские компании в основном сфокусированы

на внутреннем рынке, поэтому не оказывают большого влияния на число патентов в других странах. Также существенный разрыв наблюдается между Японией и Германией – последняя уступает более чем в два раза. Россия находится на 21 месте мирового рейтинга по числу охраняемых патентов по направлению микроэлектроника в промышленной робототехнике – 81 патентное семейство. Также следует отметить, что хотя Россия и находится на 21 месте по числу патентов, наибольшая часть из них принадлежит зарубежным патентообладателям. Можно предположить, что российские патентообладатели предпочитают депонирование своих результатов в виде таких объектов, как топологии интегральных микросхем (ТИМС) – об этом говорит статистика Роспатента, приведенная в его ежегодных отчетах. В то же время в отчетах Роспатента отмечается, что количество заявок на государственную регистрацию ТИМС в 2021 г. уменьшилось на 25,8% по сравнению с предыдущим годом. Это может быть связано с тем, что в 2020–2021 гг. произошел глобальный дефицит полупроводников и микросхем в целом.



# 2 ПАТЕНТОВАНИЯ ПО СТРАНАМ И ПО ПРАВООБЛАДАТЕЛЯМ

На представленной ниже карте (рисунок 3) отражена география патентования по количеству действующих патентов, охраняемых в различных национальных ведомствах. Эта карта демонстрирует стратегию защиты патентообладателей таким образом, что она отражает рынки, где наиболее развита и востребована защита технических решений, связанных с микроэлектроникой в промышленной робототехнике.

С другой стороны, эту карту можно рассматривать как отображение стран с низкой конкурентной средой, что позволяет их рассмотреть на предмет вывода на рынок своих технических решений. При этом на карте не учтено то, что 2272 заявки находятся в стадии рассмотрения в Европейском патентном ведомстве (EP) и 914 заявок находятся на международной фазе во Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС, WIPO) по международной патентной системе PCT.

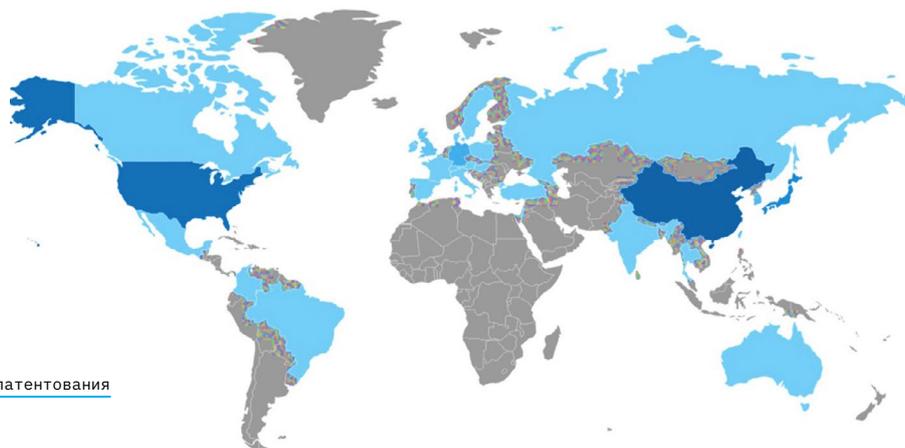


Рис. 3. Карта стран патентования

## ПАТЕНТООБЛАДАТЕЛИ

Качественный состав патентообладателей на мировом рынке, в том числе и российском рынке, вполне традиционен для сложных микроэлектронных систем. Ниже представлена диаграмма в процентном соотношении правообладателей по числу патентных семейств (диаграмма 1):

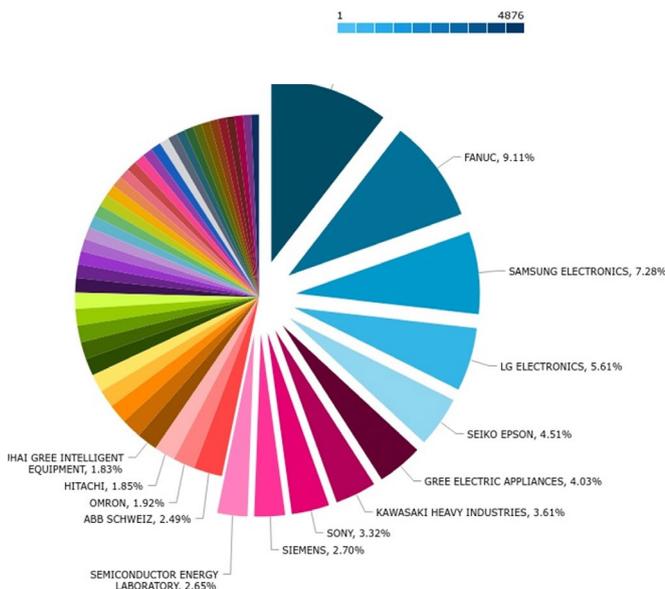


Диаграмма 1. Доля на рынке правообладателей по количеству патентных семейств

Если рассматривать с количественной точки зрения по количеству патентных семейств, то таблица Топ-20 правообладателей в мире принимает следующий вид (рисунок 4). Больше всего патентных семейств в микроэлектронике для промышленной робототехники у компаний Canon – 456, Fanuc – 398 и Samsung – 318. Следом за тройкой лидеров идут компании LG – 245, Seiko – 197 и Gree electric – 176.

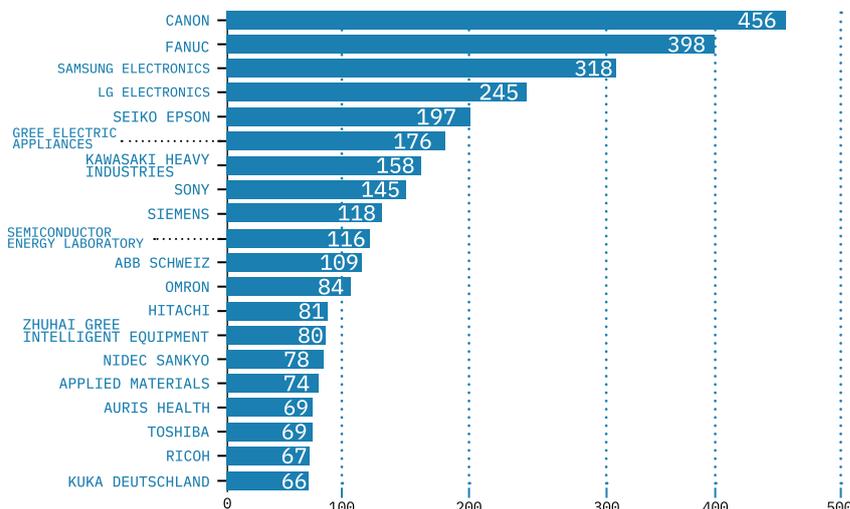


Рис. 4. Топ-20 правообладателей в микроэлектронике для промышленной робототехники

На рисунке 5 представлена так называемая пузырьковая диаграмма, которая отражает влияние портфелей патентных семейств разных правообладателей на исследуемую технологическую область и которая показывает количество прямых ссылок на находящиеся в портфеле патентные семейства (вертикальная ось) по отношению к среднему возрасту патентных семейств в портфеле (горизонтальная ось). Размер закрашенной области соответствует количеству патентных семейств, в которых выдан хотя бы один член семейства – охранный документ. Чем больше закрашенная область, тем больше потенциал конкуренции в данной области. Размер закрашенной области также характеризует зрелость технологического направления, другими словами – уровень готовности технологий в разработках данной компании. Расположение пузырька ближе к правой части диаграммы свидетельствует о том, что заявки в данном портфеле имеют в среднем более раннюю дату подачи заявки, чем находящиеся левее. Например, можно видеть, что компания Hitachi была одной из первопроходцев в изучаемой области. Из диаграммы видно, что на данный момент наибольшее влияние на область микроэлектроники в промышленной робототехнике имеют компании Canon, Samsung, Fanuc, Seiko и Semiconductor Energy Laboratory – у них относительно свежие патентные семейства, в которых большая доля патентов имеют

недавние приоритеты. Samsung находится в верхней левой части диаграммы – это говорит не только о недавнем приоритете патентных семейств, но и о том, что содержащиеся в этом портфеле семейства быстро стали значимыми в данной области – а значит, имеют сильное влияние на остальные патентные семейства, т.е. цитируются другими правообладателями наиболее часто.

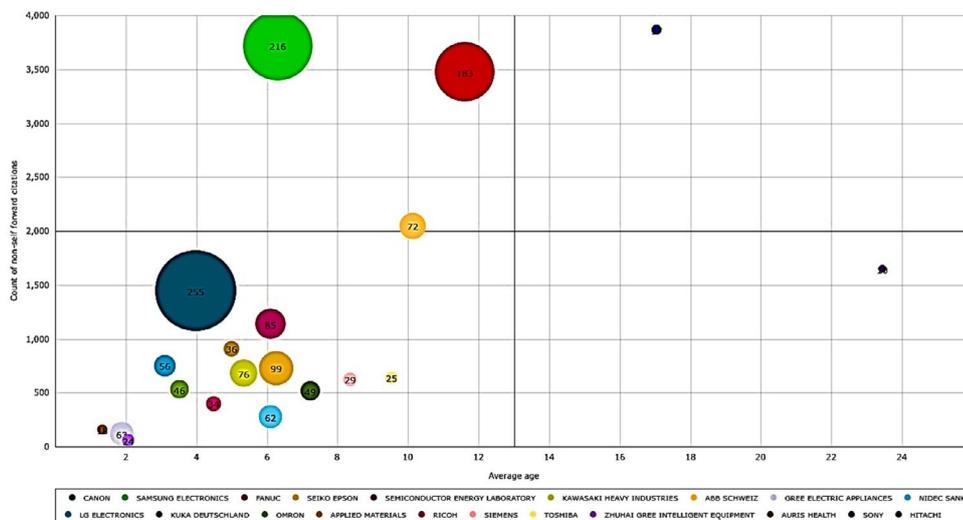


Рис. 5. Технологическая значимость патентных портфелей разных заявителей в области микроэлектроники в промышленной робототехнике

## 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

На рисунке 6 представлена диаграмма научных публикаций за последние 20 лет, с 2002 по 2022 гг., в области микроэлектроники, связанной с промышленной робототехникой. На диаграмме мы видим ежегодный рост научных публикаций, пик которых приходится на 2017 г. Прирост в 2017 г. по сравнению с предыдущим годом составил 16%. Ранее ежегодный рост составлял

5–7%. Также на диаграмме видно, что в 2019 г. произошел резкий спад числа научных публикаций. Одной из причин этого является то, что в данный период на рынке микроэлектроники произошел дефицит модулей памяти DRAM «по причине геэкономических конфликтов», то есть торговой войны США и КНР.



Рис. 6. Научные публикации в области микроэлектроники за последние 20 лет.

На рисунке 7 представлены наиболее актуальные технологические области исследования микроэлектроники для промышленной робототехники на основе анализа ключевых слов в научных публикациях, относящихся к объекту исследования. Всем ключевым словам присваивается вес в зависимости от расположения слов в тексте – например, если ключевые слова расположены в заголовке, им присваивается наибольший вес. Из диаграммы можно отметить, что в микроэлектронике для промышленной робототехники в большей степени публикуют научную информацию по техническим решениям, относящимся к следующим технологиям: радиоволнам, тонким пленкам, кремниевой фотонике, лазерным дисплеям, компьютерным и нанотехнологиям и другим.

На рисунке 7 видно, что в центре выделена проблема обработки и передачи радиочастотных сигналов, которой посвящена значительная доля работ в научной сфере.

Также не меньшую значимость в научной сфере имеют приближенные к центральной части рисунка технологии, а именно технологии тонких пленок (например, технология нанесения пленок на микросхему) и синергия двух групп технологий электроники и оптики – кремниевая фотоника, которая позволяет принципиально изменить систему передачи данных на расстояниях от миллиметров до тысяч километров. Можно заметить, что уделяется большое внимание оптическим технологиям, в частности, наблюдается

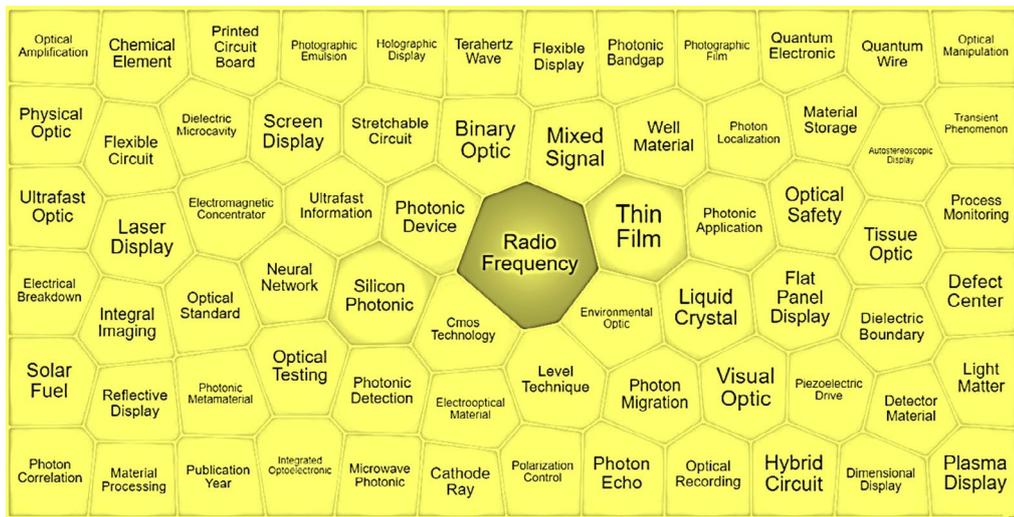


Рис. 7. Области исследований в микроэлектронике для промышленной робототехники.

научный интерес к фотонным устройствам: к детекции фотонов и изучению характеристик как самих фотонов, так и сред их распространения, что подтверждает интерес научного сообщества к изучению технологий, направленных на повышение скорости передачи данных и на разработку структур, позволяющих передавать данные с повышенной скоростью.

**В научной среде рассматриваемой области исследований решают такие задачи, как:**

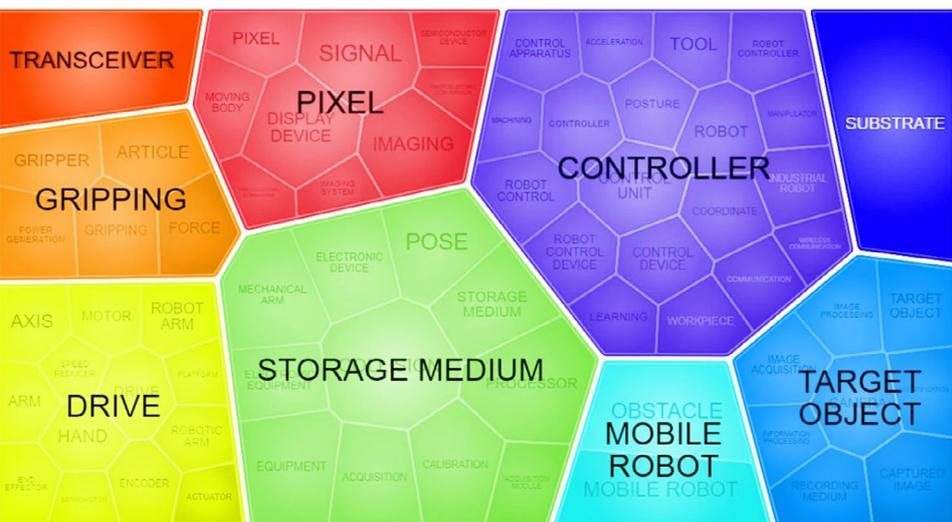
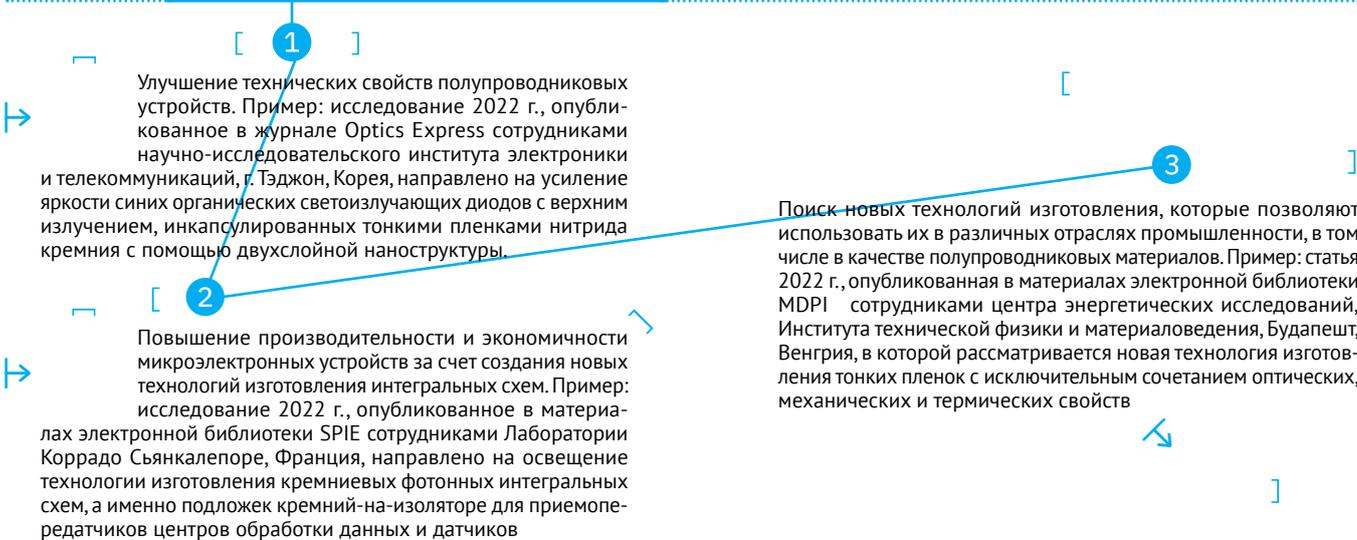


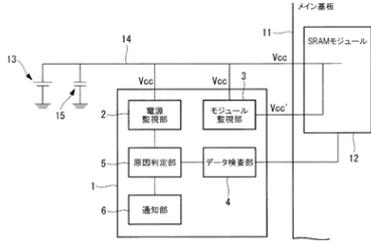
Рис. 8. Семантическое распределение патентных документов по ключевым словам

На рисунке 8 представлен семантический анализ текстовых документов патентных заявок. Данная семантика представляет собой интеллектуальный анализ патентных документов – описания, формулы, рефераты запатентованных решений, который помогает понять наиболее часто встречаемые в патентных документах слова и фразы. На диаграмме патентные документы сгруппированы по ключевым словам. Такое распределение показывает, какие объекты создаются и какие технические задачи решаются в обозначенном временном интервале в области микроэлектроники в промышленной робототехнике. Значительная часть разработок в микроэлектронике относится к созданию модулей памяти (storage medium), контроллеров (controller), технологиям приема и отображения информации (pixel), управляющих и приводных устройств (drive).

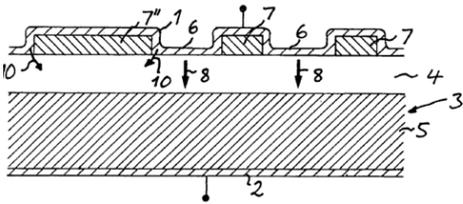
Далее рассмотрим, какие технические решения патентуют в вышеупомянутых кластерах, которые имеют наибольшее влияние по сравнению с аналогичными запатентованными техническими решениями. Оценка влияния основана на количестве прямых цитирований на техническое решение.

**1 В группе модулей памяти патентуют следующие технические решения:**

Патент Японии № JP2020154775 от 20.03.2019 «Модуль Sram и детектор поломки» («Sram module and breakage detector»), МПК G06F11/22, G06F11/07, G06F11/30. Технический результат заключается в улучшении системы контроля напряжения модуля памяти.

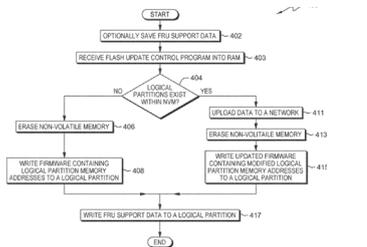


Патент США № US20070278609 от 31.05.2006 «Полупроводниковое устройство» («Semiconductor device»). Технический результат заключается в упрощении конструкции и снижении сопротивления устройства.

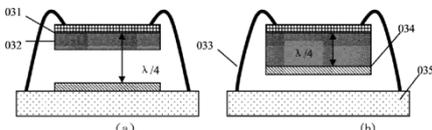


**2 В группе контроллеров патентуют следующие технические решения:**

Патент США №US20180081547 «Разделы энергонезависимой памяти в микроконтроллерах» («Non-volatile memory drive partitions within microcontrollers»), МПК G06F9/44, G06F3/06, G06F11/07. Технический результат заключается в улучшении системы управления данными микроконтроллера модуля памяти.



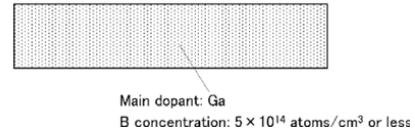
Патент Китая № CN103730535 от 12.10.2012 «Способ изготовления неохлаждаемого инфракрасного матричного пикселя в фокальной плоскости с кремниво-германиевой пленкой» («Method for manufacturing uncooled infrared focal plane array pixel with silicon-germanium film»), МПК H01L31/18, H01L27/146. Технический результат заключается в увеличении скорости поглощения инфракрасного излучения.



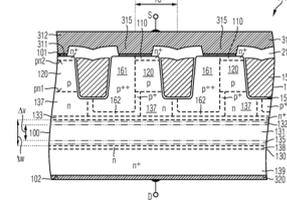
**3 В группе пикселей патентуют следующие технические решения:**

Патент Японии №JP2021088498 от 23.12.2019 «Кремниевая монокристаллическая подложка и кремниевая эпитаксиальная плита»

для твердотельного датчика изображения и твердотельного датчика изображения» («Silicon single crystal substrate for solid-state image sensor, silicon epitaxial wafer, and solid-state image sensor»). Технический результат заключается в улучшении подавления остаточных характеристик изображения твердого тела датчика изображения.

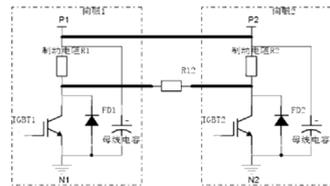


Патент Германии №DE102018103973 от 22.02.2018 «Полупроводниковое устройство из карбид кремния» («Siliziumcarbid-halbleiterbauelement»). Технический результат заключается в улучшении проводимости электрических контактов и электрического поля на печатной плате при минимальном расстоянии области инжекции 1 мкм.

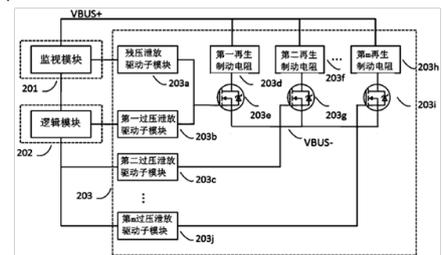


**4 В группе приводов патентуют следующие технические решения:**

Патент Китая №CN111835232 от 27.07.2020 «Способ совместного использования тормозных резисторов нескольких сервоприводов» («Sharing method of brake resistors of multiple servo drivers» EN). Техническим результатом является снижение тепловыделение резисторов и температуры привода, уменьшение мощности тормозных резисторов, уменьшение габаритов устройства и увеличение срока службы электрической системы привода.



Патент Китая №CN208028797 от 30.01.2018 «Цепь рекуперативного торможения сервопривода» («Servo's regenerative brake circuit»). Техническим результатом является увеличение эффективности рекуперативного торможения привода и сопротивления рассеивания энергии, уменьшение габаритов устройства.



В заключении хотелось бы отметить, что в целом по технологии микроэлектроники наблюдается стабильная положительная динамика в патентовании технических решений – это говорит о том, что решения в этой области можно отнести к хорошо освоенной и востребованной на рынке технологии. Разработчикам в Российской Федерации, несомненно, необходимо развивать российский рынок микроэлектроники, патентовать свои технические решения и расширять географию по ее защите.

Отдел интеллектуальной собственности и трансфера технологий АНО ВО «Университет Иннополис»

Контакты: [iu-patent@innopolis.ru](mailto:iu-patent@innopolis.ru)

При работе над статьёй использованы материалы:

1

Патентная база данных Questel Orbit Intelligence

2

Патентная база данных Questel Orbit Insight

3

Статья «Микроэлектроника (рынок России)»

4

Обзор TAdviser «Российский рынок промышленности робототехники 2021»

5

Статья РБК+ «Глобальный дефицит чипов – стимул для электронной промышленности»

# РАФАЭЛЬ ИЛЬЯСОВ



**Микроэлектроника, конечно, будет развиваться — эта отрасль очень наукоемкая, я бы сказал, что она является передним фронтом науки.**



---

**Организация:** Дизайн-центр электроники и микроэлектроники (ДЦЭИМЭ) Университета Иннополис

---

**Материал подготовила:**  
Лейсан Василова

**Рафаэль Ильясов**  
Руководитель Дизайн-центра электроники и микроэлектроники (ДЦЭИМЭ) Университета Иннополис

**ЦРБТ:**  
**Какое направление исследований в области микроэлектроники сейчас популярно в мире, в России?**

**Р. И. :**

На мой взгляд, конечно, это работа в направлении процессоров. Современные процессоры конвейерные, и основные задачи перед разработчиками стоят именно по микроархитектуре. Иными словами, есть архитектура — набор команд для процессора, а есть микроархитектура — по сути, это то, из каких блоков состоит микросхема и как они соединены между собой. Сейчас наиболее перспективной областью, по-моему мнению, являются цифровые микросхемы, процессоры, микроконтроллеры, и именно в этом направлении сосредоточены основные усилия разработчиков и дизайн-центров по всему миру, в том числе и в России. Например, речь идет о таких компаниях, как «Байкал Электроникс» и «МЦСТ», которые разрабатывают процессоры.

**ЦРБТ:**  
**Учитывает ли ДЦЭиМЭ эти тренды в своей работе?**

**Р. И. :**

Да, конечно. Наш центр в целом небольшой, всего нас около пятнадцати человек. Мы занимаемся только цифровыми микросхемами, поскольку наш университет направлен на IT-отрасль, нам ближе именно это направление. Есть еще радиочастотные, аналоговые микросхемы, но это другое. Мы исследуем современные решения по микроархитектуре и работаем с цифровыми процессорами, наша работа сконцентрирована в этой области.

**ЦРБТ:**  
**Расскажите, пожалуйста, о ДЦЭиМЭ Университета Иннополис. Для каких целей и задач он был создан? Какие приоритетные задачи для Дизайн-центра Вы могли бы выделить на данный момент?**

**Р. И. :**

Наш центр относительно молод, он был создан 21 апреля 2021 года. За его создание мне хотелось бы отдельно поблагодарить руководство Университета: я рад, что они поддержали идею открыть Дизайн-центр электроники и микроэлектроники, так как микроэлектроника — это важнейшая стратегическая отрасль для нашей страны.

Среди задач я могу выделить несколько основных направлений. Первое — наработка компетенций внутри университета, что подразумевает обучение сотрудников, которых мы привлекаем. Второе — усиление позиций микроэлектронной отрасли России на мировой арене. В основном все, что делается в России по микроэлектронике, связано с военной отраслью, но есть и компании, которые разрабатывают микросхемы для гражданского применения — тот же «Байкал Электроникс», например. У них есть процессоры Baikal-M, Baikal-S и на базе этих процессоров компании разрабатывают материнские платы для компьютеров. Эти проекты направлены на гражданскую отрасль, и мы также «заточены» на нее, т.е. в проектах, связанных с военной сферой, наш Дизайн-центр не участвует. Мы стараемся оказывать услуги именно по разработке микросхем и их верификации как в России, так и за рубежом — это наше основное направление.

В нашем центре два отдела — конструкторский и отдел электроники и микроэлектроники. Первый отдел занимается тем, что разрабатывает различные механизмы, роботы, корпуса для электронных устройств. Второй разрабатывает электронику, то есть это печатные платы, ПО для печатных плат и «железа», а также цифровые микросхемы. В микроэлектронике это отдельное направление, которое требует много специфических знаний и таких специалистов мало. Чтобы обозначить уровень наших разработок, могу сказать, что на сегодняшний день мы можем разработать смартфон. В него войдут многослойная печатная плата, один или несколько процессоров, видеокамеры и другие микросхемы — это то, что мы можем сделать сейчас.



В смартфоне, конечно, больше работы не в конструкции и печатных платах, а на software, то есть для разработчиков ПО. Если поступит такая задача и ТЗ (техническое задание) от заказчика, куда будут включены требуемые технические характеристики, то мы обсуждаем его, заключаем договор и начинаем работу по проектированию. Результатом нашей работы будет документация для серийного производства изделия и несколько рабочих прототипов. Естественно, чтобы все заработало с первого бывает крайне редко. Как правило, производится несколько версий прототипов — они тестируются, исследуются, в них вносятся правки и в итоге получается продукт.

**ЦРБТ:**  
**Какова дальнейшая судьба таких продуктов? Возможна ли их коммерциализация?**

**Р. И. :**

Да, то, что мы делаем — это на 100% коммерческие решения. Хотя сейчас в Иннополисе нет производственной площадки и линий по серийной пайке печатных плат, мы можем заказать десять или даже сто тысяч плат, например, у производителей в Китае — они по нашей документации произведут эти платы и доставят их сюда. Также произвести пайку относительно большой серии плат возможно и в Казани.

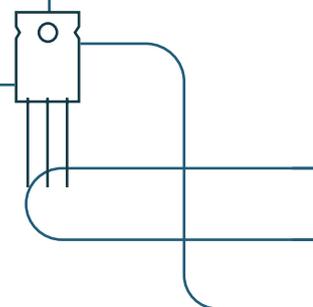
**ЦРБТ:**  
**Расскажите о своей команде. Сколько человек работает в штате, работаете ли вы над одним проектом все вместе или у каждого есть своя область специализации?**

**Р. И. :**

Я считаю, что у меня в коллективе самые опытные и высококвалифицированные специалисты, которые справятся с самой сложной задачей.

Например, у нас были заявки по разработке материнской платы для компьютера. Это сможет далеко не каждый, а мой коллектив может. Как я уже говорил, наш приоритет — это разработка. Мы оказываем услуги R&D — Research and Development — то есть услуги по разработке изделий и документации для их серийного производства, а услуги по производству оказывают сторонние компании. Такой подход в принципе очень популярен в мире.

В целом в нашей команде 15 человек, сейчас мы также привлекаем студентов 1-3 курсов. Те, кто показывает себя положительно и справляется с задачами, могут устроиться



официально. Мы много участвуем в научных конференциях: так, за этот неполный учебный год мы приняли участие в большом количестве таких мероприятий — например, в научной конференции в Зеленограде. Там мы представили три научных статьи и защищались перед докторами наук, это конечно, было волнительно для студентов. Также участвовали в ChipEXPO в Сколково: делали онлайн-доклады по микроэлектронике.

У меня особое отношение к студентам, основанное на моем опыте: я тоже когда-то был студентом и помню, как ты себя чувствуешь — я вот вообще иногда ничего не понимал в электронике, и мне иногда было тяжело. Мне хотелось бы верить, что в этом плане я им помогаю и стараюсь, чтобы они были не замкнутыми «гиками», как иногда называют людей, увлеченных технологиями, а специалистами, которые могут презентовать и себя, и свои проекты широкой публике. Мои студенты также активно участвовали в сколковской «Школе цифрового синтеза». Представьте — человеку 17 лет, а он вещает на YouTube на серьезную аудиторию в 500-600 человек, его слушают и задают вопросы по теме. Я стараюсь организовывать такие мероприятия, чтобы они учились выступать, после чего мы даем друг другу обратную связь. Таким образом, они уже умеют делать презентации, выступать и оформлять научные статьи. Часть студентов я стараюсь в какой-то мере привлекать и к коммерческим проектам.

В целом я за всестороннее развитие. При этом не заставляю делать человека то, что ему не нравится. У нас в работе есть разные задачи: есть научные, например, разработать какого-то робота или участвовать в разработке математической модели, есть задачи по микроэлектронике и другие. Студентам я могу сказать: вот пять задач, какая тебе больше нравится? Он делает свой выбор и работает над ней.

Я не знаю ни одного вуза в России, в котором студенты работали бы с ПЛИС уже на первом курсе! Прежде всего, это заслуга нашего ректора Александра Геннадьевича Торماسова, который ввел курс Computer Architecture на первом курсе для всех обучаемых специальностей. Помимо теории, студенты также выполняют лабораторные работы по данному курсу, а те, кто хочет продолжить обучение и применить полученные знания на практике, приходят в наш Дизайн-центр. Таким

образом, в нашем вузе существует тесная связь академической школы с практикой благодаря работе бок о бок с очень опытными инженерами. Когда я был студентом и проходил практику на производствах, только на некоторых из них мне посчастливилось поработать с инженерами-разработчиками, это очень помогало и мотивировало развиваться дальше в выбранной специальности.

Как я уже заметил, у нас работает два отдела. Инженеры-электроники занимаются проектированием устройств и элементов, а конструктора создают чертежи, которые мы впоследствии передаем на производство, где производятся детали. Потом из них мы собираем различные изделия в университете. Так, недавно мы закончили *посадочную платформу для БПЛА*, то есть для квадрокоптеров, доделываем восьмитросового робота. Такие интересные проекты сейчас у нас находятся в работе, также имеется коммерческий проект по микроэлектронике. Кроме этого, есть и несколько задач по электронике. Конечно, у каждого своя специализация, но поскольку нас 15 человек — а это не такой большой коллектив — мы стараемся помогать друг другу в задачах. Если мы делаем, например, электронный девайс, где печатную плату надо разместить в корпусе, то тут мы работаем в 3D-формате: у конструкторов есть корпус в 3D, а у инженеров плата в 3D. Если где-то происходит столкновение элементов, мы что-то меняем, и это полностью совместная работа двух отделов.



\* \* ПЛИС — программируемая логическая интегральная микросхема - электронный компонент, используемый для создания цифровых интегральных схем.



**ЦРБТ:**

**Какие приоритетные задачи для Дизайн-центра Вы могли бы выделить на данный момент?**

**Р. И. :**

Наши приоритетные задачи — это развитие услуг по R&D и выход на международный уровень. Я замечал такое явление: если вы зайдете на популярный сайт фрилансеров, то среди специалистов одного уровня стоимость часа работы человека из России может быть в 2.5-3 раза выше, чем у его коллег из других стран (Индия, Китай и другие). Почему такое происходит? Потому что люди понимают, что качество работы российского специалиста будет выше. Россия славится тем, что тут уровень образования достаточно высокий. Давайте перечислим, что отличает среднестатистического студента Университета Иннополис. Человеку всего 17 лет, и у него уже свободный английский на уровне Upper Intermediate и выше, он уверенно работает в операционных системах на базе Linux, знает несколько языков программирования, основные алгоритмы, участвовал в олимпиадах и реальных разработках. Есть студенты, которые имеют опыт участия в олимпиадах по робототехнике мирового уровня, то есть они не просто сидят за компьютером, а имеют и практические результаты в виде какого-то девайса. И это все в 17 лет! Вот это и есть Университет Иннополис, понимаете? Конечно, есть очень сильные московские вузы типа Бауманки, Физтеха — возможно, там уровень еще выше. Но в целом я очень доволен нашими студентами и с удовольствием привлекаю их к работе. Сегодняшние студенты — это завтрашние высококвалифицированные специалисты.

**ЦРБТ:**

**Как Вы считаете, слышаны ли в мире об Университете Иннополис?**

**Р. И. :**

Могу привести такой пример — один из заказчиков, с которым мы сейчас ведем проект, перед началом совместной работы как раз искал и проверял наши научные достижения, и в результате он достаточно положительно о нас отозвался. Сейчас об уровне университета, в первую очередь, судят по научным статьям и их количеству. Конечно, одно дело, если вы публикуетесь в каком-то российском городе на локальной конференции, и совсем

другое — если участвуете в международном мероприятии, то есть уровень самой конференции также учитывается. Чтобы попасть на конференцию топ-уровня, надо очень сильно постараться. Все эти публикации делаются не просто ради факта публикации, во всех них присутствует научная новизна. Впоследствии эта новизна проверяется, и поэтому одним из главных критериев оценки вуза и качества образования в нем становится количество и уровень публикаций. В 2021 мы заняли первое место по качеству приема среди российских вузов, и 12 место в рейтинге Forbes лучших университетов России. На мой взгляд, это многое говорит об уровне университета и его авторитете.

**ЦРБТ:**

**Каковы дальнейшие планы ДЦЭиМЭ? На каких проектах вы планируете сконцентрироваться в ближайшее время?**

**Р. И. :**

Прежде всего, наши планы — расширяться. Конечно, субсидии и гранты — это важно, но Университет Иннополис представляет собой не классическое образовательное учреждение. Среди сотрудников тут больше инженеров-разработчиков, которые могут решать реальные задачи, поэтому одной из целей мы ставим перед собой расширение пула коммерческих задач. Сейчас мы активно этим занимаемся — я езжу по заводам, мы участвуем в тендерах, ищем заказчиков и беремся за серьезные задачи. В дальнейшем под эти задачи, конечно, планируется расширение штата. Тем не менее, мы не забываем и о научной составляющей, это тоже необходимо. В ходе подготовки к конференциям, выступлениям я стараюсь помогать студентам, и даже если они потом не будут работать у нас, буду знать, что я внес определенный вклад в его развитие и они запомнят, как когда-то я их готовил и направлял. Для меня важно, что у них останется положительное впечатление от нашей работы.

**ЦРБТ:**

**Наверняка вы работаете в тесном сотрудничестве с другими структурами Университета Иннополис. Как применяется микроэлектроника в робототехнике?**

**Р. И. :**

Конечно, мы работаем с другими лабораториями. Например,



тесно сотрудничаем с Институтом искусственного интеллекта и их лабораторией. Сейчас очень популярны направления, связанные с искусственным интеллектом, в частности, внедрение его в промышленность. Мы совместно работаем над несколькими тендерами: наш Дизайн-центр проектирует «железо», а коллеги разрабатывают софт. Например, мы разрабатываем свою камеру, которая записывает видеопоток и аудиопоток и потом либо онлайн, либо в течение какого-то времени с помощью алгоритмов искусственного интеллекта осуществляет распознавание объектов или людей. Кроме того, мы работаем в сотрудничестве с лабораторией промышленной робототехники. Так, в прошлом году мы совместно разработали тросовую систему возведения зданий. Она представляет из себя пятнадцатиметровые колонны, на которых с помощью восьми тросов закреплена печатающая платформа. Она печатает здания специальным строительным раствором, то есть мы загружаем чертеж здания в систему автоматизации, и она управляет этой печатающей головкой. Мы полностью разработали и систему управления, и саму конструкцию. Печатающая платформа представляет из себя трехопельную систему, она находится сейчас в стадии производства в Подмоскovie, и я надеюсь, что этим летом она придет к нам, мы ее запустим и начнем обрабатывать наш алгоритм.

**ЦРБТ:**  
**Как применяется микроэлектроника в робототехнике?**

**Р. И. :**  
Микроэлектроника — это область науки и техники, предназначенная для проектирования микросхем: аналоговых, цифровых. В современной робототехнике есть и другие составляющие, например, гидравлические, но в целом почти в каждом роботе есть микросхемы. Собственно, именно благодаря микроэлектронике появилась современная электроника. Конечно, электроника существовала и раньше, но она разрабатывалась на дискретных элементах: резисторах,

транзисторах. Впоследствии благодаря достижениям микроэлектроники из набора транзисторов стали собирать микросхемы. Это очень тесные понятия: тут нужно понимать, что специалисты микроэлектроники разрабатывают микросхемы, а электроники — электронные устройства на основе этих микросхем, в том числе и печатные платы для той же робототехники. Сенсоры робота, та же видекамера, датчики обратной связи — все это и есть электроника и микроэлектроника. Если разобрать робота, внутри него будет множество микроэлектронных компонентов различного назначения. Можно, конечно, реализовать схему средней сложности и без микросхем, но она получится громоздкой, а на протяжении последних пятидесяти лет мир движется к миниатюризации. Раньше, в 1980-е гг., был компьютер в форме шкафа пять метров высотой, а сейчас компьютер помещается на ладони. Микроэлектроника, конечно, будет развиваться — эта отрасль очень наукоемкая, я бы сказал, что она является передним фронтом науки. На сегодняшний день разрабатываются двухнаметровые технологии, и все это стало возможным благодаря научным успехам в этой области.

**ЦРБТ:**  
**Платы, разработанные Дизайн-центром, успешно применяются в проектах Университета Иннополис. В чем особенность разработки платы для, например, подводного аппарата?**

**Р. И. :**  
Печатные платы для подводного аппарата ничем принципиально не отличаются от плат для бытового компьютера. Единственная особенность — там будет защита от влаги, то есть специальное покрытие, нанесенное на плату. Так как печатная плата находится внутри корпуса, давления окружающей среды она не испытывает, оно приходится на стенки самой конструкции, это учитывали наши конструкторы в своей работе. Когда мы создавали подводный аппарат — это, кстати, тоже разработка нашего Дизайн-центра — мы разработали его с расчетом на глубину до 100 м. Сейчас мы рассчитываем взяться за задачу, связанную с подземными устройствами — там, конечно, есть свои особенности: это температура до 200° по Цельсию и давление 50-60 МПа. Что касается подводных устройств, там таких высоких температур нет.

**ЦРБТ:**  
**Каких результатов удалось достичь ДЦЭИМЭ с момента его создания?**

**Р. И. :**  
Часть результатов я уже озвучил: со студентами мы принимаем активное участие в различных конференциях, например, в [«Школе цифрового синтеза»](#). Если вам интересно, как разрабатываются микросхемы, вы можете на YouTube набрать «Школа цифрового синтеза»: там есть онлайн-уроки, и часть из них мы преподаем сами, даем различные задачи. Также меньше чем за год сформировалась определенная команда, выполнены проекты, как научные — по субсидиям и грантам, так и коммерчески. В целом лично мне кажется, что мы достигли крутых результатов. Каждый раз, когда проходит год, я люблю задавать себе вопрос — а что ты сделал за это время? И пока ищешь ответ, понимаешь, что на самом деле сделано много, очень много. Вообще я стараюсь, чтобы все мои сотрудники были в «тонусе». Мне нравится проводить аналогию с плаванием: если ты плывешь длинную дистанцию, очень сильно стараешься, пыхтишь, то частота гребков будет высокая, но долго ты так не проплывешь. То есть если ты сутками сидишь и работаешь над задачей без сна и отдыха, это не означает, что ты выполнишь ее эффективно и качественно... Так и в нашей работе: если ты будешь слишком расслаблен, то проплывешь эту дистанцию, но медленно, а если слишком напряжен, то быстро выдохнешься. И есть среднее состояние тонуса: когда ты плывешь и побиваешь рекорды. Вот мои сотрудники находятся в таком тонусе.

ЦРБТ :

**Возможности Дизайн-центра включают в себя в том числе разработку электронных устройств с нуля. Расскажите вкратце, как происходит такой процесс? Какие специалисты вовлекаются в него на разных этапах?**

Р. И. :

Это хороший вопрос (*смеется*). Я примерно такой же вопрос задаю кандидатам на должность руководителя проекта в ходе собеседования, посмотрим, смогу ли я сам на него ответить. Итак, как происходит этот процесс: в университете есть отдел коммерциализации — это менеджеры, которые занимаются продажами. Они обращаются к нам с потенциальными заказами, и когда мы получаем задачу, первый вопрос, который мы задаем — есть ли техническое задание. Если есть, то мы его изучаем, если нет, то составляем совместно. В нем будут описаны технические параметры этого устройства: например, если речь идет о смартфоне, то это будут габариты, разрешение экрана, диагональ, объем памяти и прочее, то есть все основные характеристики. Если нам что-то непонятно, то мы уточняем и впоследствии согласовываем ТЗ. Следующий этап — составляем сметы по трудозатратам, времени и обязательно определяем, что получит заказчик на выходе. Далее мы составляем договор с заказчиком, и менеджеры по продажам ведут его до этапа подписания. После этого мы приступаем непосредственно к работе.

Во-первых, под эту задачу назначается руководитель проекта, определяются сотрудники — инженеры, конструкторы, электроники — которые будут вовлечены в этот проект, и они начинают процесс разработки. Дальше разработчики прикидывают, на какой элементной базе они могут реализовать этот девайс — либо микроконтроллеры, либо ПЛИС, либо процессор, на который нужно будет установить Linux.

Важный момент — есть ли какое-то ограничение по конечной стоимости изделия. Если, например, этот смартфон должен стоить не более ста тысяч, то от этого мы, конечно, тоже отталкиваемся. После этого на базе основных элементов электроники начинает разрабатывать принципиальную электрическую схему, начинается разработка печатной платы, корпус устройства, над которым трудятся конструкторы. Печатная плата разрабатывается и отдается на производство, далее мы пишем софт. Также мы пишем определенные программы для ПК, которые позволяют обмениваться информацией с этим устройством. Вообще я считаю, что современный электроник должен уметь разрабатывать программы, и во время собеседования я обязательно об этом спрашиваю, хотя на классическом радиотехническом факультете, как правило, программирование не преподают, и я считаю это большим упущением.

После загрузки софта начинается очень длительный процесс отладки — что-то меняется, что-то перепайвается, где-то режутся дорожки, что-то добавляется. Параллельно по конструкторским чертежам изготавливается корпус, текущие недоработки устраняются, собирается прототип и начинаются испытания. Для каждого устройства они будут отличаться: например, подводный аппарат мы испытывали в бассейне и даже погружали его в реку Волгу с катера. Такие испытания связаны именно со средой эксплуатации. Если для устройства есть требования по виброустойчивости, то оно испытывается на вибростенде, если есть температурные требования, то в термокамерах, где температуры разгоняются от минусовых до плюсовых. Также мы проводим тесты на электромагнитную совместимость, то есть то, как устройство реагирует на внешние электромагнитные помехи — чтобы оно само не создавало помехи окружающим его устройствам.

После появления первых прототипов мы отправляем их заказчику, чтобы он их тоже посмотрел и испытал. По результатам этой проверки составляется акт с замечаниями, и эти замечания устраняются, софт дорабатывается, если заказчика не устраивает конструкция или дизайн, то они тоже корректируются, и в итоге заказчик получает прототипы в количестве нескольких десятков штук.

В процессе разработки мы также оформляем рабочую конструкторскую документацию (РКД), которая в дальнейшем будет предоставлена заказчику. В РКД могут входить технический паспорт изделия, руководство по эксплуатации, технические условия. Если у заказчика есть замечания, то мы их опять же устраняем, если нет, то он принимает результат и мы успешно закрываем проект.

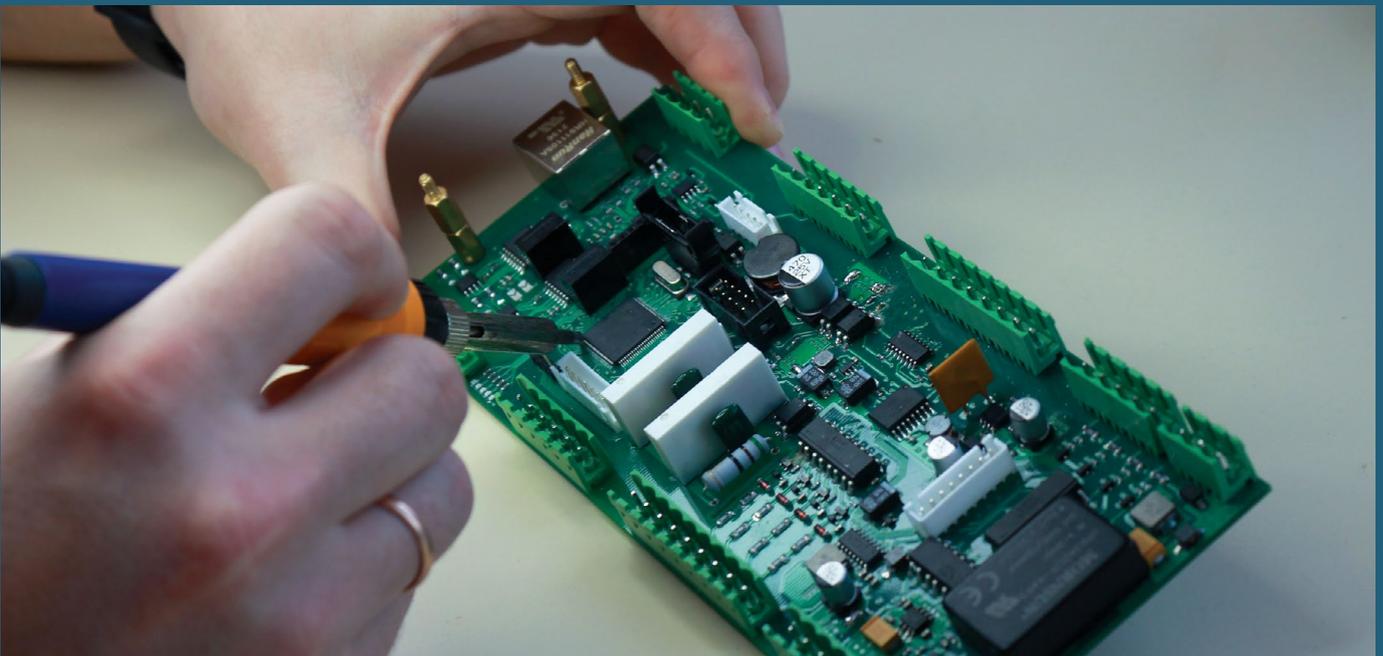
Кроме подобных крупных коммерческих проектов, внутри университета есть и инициативные проекты. Иногда и у меня так бывает: к примеру, вдруг приходит в голову идея сделать девайс, который будет записывать разговоры. Он может крепиться под столом и не требовать источника энергии, то есть он будет воспринимать энергию, например, по блютуз. Такой гаджет будет записывать то, что говорят в кабинете и по тому же блютуз передавать записи на мой телефон. То есть нас посещают разные мысли, и иногда мы реализуем такие инициативные проекты у себя. Мы стараемся выкроить на них время, если освобождаемся от коммерческих проектов, или даже ведем их параллельно в зависимости от загрузки. Такой проект может быть индивидуальной инициативой, но реализуется он в составе команды.

ЦРБТ :

**Раз мы заговорили о разработке устройств с нуля, за сколько возможно разработать смартфон?**

Р. И. :

Я бы сказал, что первые образцы мы можем представить



в среднем через 9-12 месяцев. Тут, конечно, важно учитывать, сколько человек будет задействовано в проекте. Но, думаю, за 7-8 месяцев мы создадим прототип корпуса и платы, напишем основную документацию. Сам физический прототип мы закажем у стороннего производителя и это тоже займет какое-то время, поэтому я обозначил временные рамки в 9-12 месяцев. Дальше начинается работа с софтом: либо мы пишем его с нуля, либо используем Android или Linux, либо работаем на базе Открытой мобильной платформы — то есть берем основу и дорабатываем по пожеланиям разработчика. Срок создания софта прикинуть сложнее: тут надо отталкиваться от ТЗ, от того, что хочет заказчик. Я думаю, в целом весь проект займет около полутора-двух лет со всеми испытаниями, сертификацией, которая тоже бывает очень времязатратна. Поэтому два года, по моему мнению, это вполне реальный срок для создания массового, серьезного продукта, который может впоследствии выйти на рынок.

**ЦРБТ:**  
**Как можно стать частью вашей команды? Какое образование нужно молодому специалисту, чтобы иметь возможность работать в Дизайн-центре УИ?**

**Р. И. :**  
Для специалистов, в первую очередь, это радиотехническое направление либо Software Engineering. Если речь идет о руководителе проекта, у него может быть любое техническое образование, я стараюсь брать именно таких людей. Студенты, которые работают с нами, конечно, еще учатся, но и у них есть своя специализация. В целом все наши вакансии размещены на портале HeadHunter: набираете «Университет Иннополис» и можно будет с ними ознакомиться.

**ЦРБТ:**  
**С какими организациями и предприятиями Вы сотрудничаете? Сотрудничает ли ДЦЭИМЭ с зарубежными партнерами?**

**Р. И. :**  
Да, мы сотрудничаем со многими организациями. Прямо сейчас мы участвуем в проекте с «Газпромнефтью» — там перед нами стоят задачи именно по электронике, по автоматизации, и мы больше работаем над проектами, где есть научная составляющая, есть какая-то неизвестность. Это как раз процесс R&D, где нужно создать определенный девайс, и пока в полной мере непонятно, будет он работать в таких условиях или нет, и заказчик сам это понимает. Надо проводить большой объем исследований, и мы как раз этим и занимаемся — разрабатываем несколько технических вариантов, один из них выбирается и впоследствии внедряется в производство. Среди прочих партнеров я могу назвать группу НЛМК, «Сибур», «Газпром».

В целом, у нас достаточно проектов по электронике и мы довольно загружены. Университет также старается привлечь новых крупных клиентов. Вообще пока мы только расширяемся. Понятно, что если вы только открылись, то у вас не сразу появятся заказчики уровня Samsung или Qualcomm, поэтому компетенции тоже надо наращивать. В первый год работы вы можете решать один уровень задач, а через 10 лет уже совсем другой, то есть необходимо постоянно развиваться.

**ЦРБТ:**  
**Вносит ли текущая геополитическая обстановка коррективы в вашу работу?**

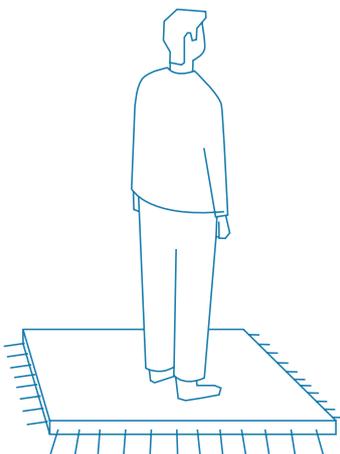
**Р. И. :**  
Безусловно, вносит, потому что электронные устройства для гражданской отрасли состоят в основном из зарубежных микросхем. Соответственно, сейчас закупить импортные микросхемы сложнее, потому что цены уже стали выше. В то же время у нас есть опыт проектирования устройств именно на отечественной элементной базе — например, на базе устройств компании «Миландр», которая производит неплохие микроконтроллеры. Есть предприятие ВЗПП-С в Воронеже — они производят отечественные ПЛИС, мы их тоже применяем, если это требуется. Таким образом, для электроника, по большому счету, не принципиально, на отечественном или зарубежном микроконтроллере нужно разработать плату. Это будет важнее для специалиста, который будет писать софт для этого микроконтроллера.

Однако есть другой момент: в России, так скажем, пока производятся не все необходимые радиоэлементы. Чисто исторически в России многие электронные центры заточены на военную отрасль: есть микросхемы с военной приемкой, а есть с гражданской, и далеко не у каждого предприятия есть микросхемы для гражданского применения.

Кроме этого, необходимо понимать, что производство микросхем и в целом микроэлектроника заточена именно на большую серию, тогда производство будет окупаться. Например, есть фирма STMicroelectronics, которая продает свои микроконтроллеры по всему миру, а есть Миландр, у которого покупают преимущественно страны СНГ. Их тираж гораздо меньше, и ошибки, которые присутствуют в каждой микросхеме и обычно устраняются в ходе выпуска следующей партии, исправляются медленнее именно за счет малой серийности. Но в целом у меня оптимизма не убывает:

я заметил, что наши инженеры готовы работать над задачей, пока полностью не решат ее, и неважно, сколько времени для этого понадобится.

Так что я думаю, что скоро все наладится, все будет айбэт (тат. «хорошо») *(смеется)*.





**В 2021 мы заняли первое место по качеству приема среди российских вузов, и 12 место в рейтинге Forbes лучших университетов России. На мой взгляд, это многое говорит об уровне университета и его авторитете.**



# В УНИВЕРСИТЕТЕ ИННОПОЛИС ПРОШЕЛ ФИНАЛЬНЫЙ ЭТАП НАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО ПРОФИЛЮ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (СТУДЕНЧЕСКИЙ ТРЕК)».



ЦЕНТР  
ТЕХНОЛОГИЙ  
КОМПОНЕНТОВ  
РОБОТОТЕХНИКИ  
И МЕХАТРОНИКИ

innopolis university



НАЦИОНАЛЬНАЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ОЛИМПИАДА

**Даты проведения:** 21.03.22 - 24.03.22

**Место проведения:** г. Иннополис, Университет Иннополис

С 21 марта по 24 марта в Университете Иннополис проходил Второй тур заключительного этапа Национальной технологической олимпиады (далее - НТО) по профилю «Интеллектуальные робототехнические системы (студенческий трек)».

В финале соревновались 6 команд в составе из 24 студентов бакалавриата ИТМО, НИУ МЭИ, Университета Иннополис, СПбПУ, МГТУ «СТАНКИН», ГУАП, МИСиС.

### Для справки:

Студенческий трек НТО – это уникальный формат инженерных состязаний студентов бакалавриата, который даёт возможность познакомиться с высокотехнологичным оборудованием и ведущими специалистами в области робототехники, а в финале реализовать свой инженерный потенциал для создания алгоритмов, которые позволят решать актуальные проблемы применения роботов в индустрии.

Олимпиада проходит по 8 образовательным профилям, связанным с развитием «рынков будущего», – интеллектуальные робототехнические системы, летательная робототехника, умный город, групповой интеллект и другими передовыми научными областями. Направления Олимпиады соответствуют отраслевым приоритетам Национальной технологической инициативы – программы глобального технологического лидерства России к 2035 году.

Задания для участников составляют эксперты из ведущих российских вузов и крупнейших компаний страны.

Победители-студенты выпускных курсов получают возможность поступить в магистратуры вузов-участников, а также предложения от партнёров. Победители-студенты младших курсов получают интересные предложения и стажировки от разработчиков профилей.

### Форма проведения Олимпиады

Студенческий трек проходил в 3 этапа:

- 1 октября – 30 октября – регистрация участников и формирование команд.
- 1 декабря – 13 января – отборочный онлайн-этап;
- 21 – 24 марта – очный заключительный этап (отработка алгоритмов на реальном робототехническом оборудовании на базе Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники, Университет Иннополис).

В этом году профиль «Интеллектуальные робототехнические системы» Национальной технологической олимпиады был посвящен востребованной на производстве робототехнической задаче – динамической сортировке объектов при помощи коллаборативного робота UR10e. Развитие подобных алгоритмов позволяет расширить область применения промышленных манипуляторов. Это может быть как автоматизация складов, логистических центров, так и автоматизация производств.

По результатам отборочного тура для участия в финале было отобрано 6 команд из 4 человек, набравшие максимальное количество баллов.

### Финальная задача

На *очном этапе* участники решали задачу определения случайно расположенных объектов в рамках рабочей зоны робота с помощью камеры и анализа облака точек. На демонстрацию смоделированных робототехнических систем у финалистов было 2 попытки по 5 минут. Готовые решения команды презентовали перед экспертами Лаборатории робототехники Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии компонентов робототехники и мехатроники».

### Итоги соревнований

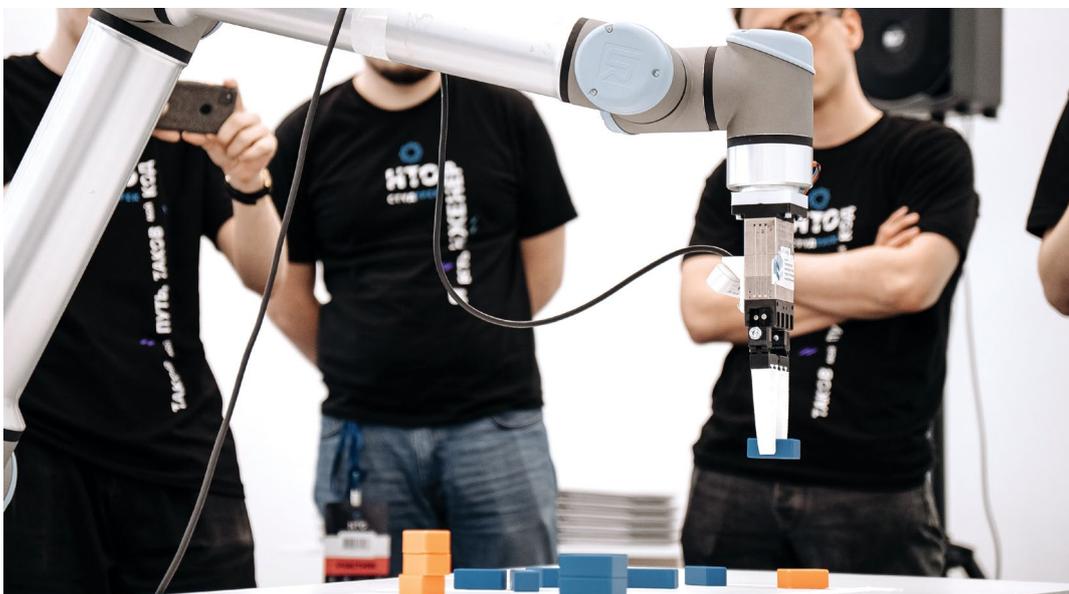
Лучше всех с поставленными задачами справилась команда Domination v 2, Москва:

- \* Иван Апанасевич, НИУ МЭИ;
- \* Владимир Клепиков, НИУ МЭИ;
- \* Марк Вишневский, МИСиС;
- \* Ярослав Савельев, МИСиС.

Студенты 4 курса получили льготы на поступление в магистратуру Университета Иннополис по направлению подготовки «Информатика и вычислительная техника» – им нужно будет пройти только экзамен по английскому языку. Победителей младших курсов пригласили на летнюю стажировку в одну из лабораторий Центра компетенций НТИ по направлению «Технологии компонентов робототехники и мехатроники» на базе российского ИТ-вуза – они сами выберут проект, в котором будут участвовать.

Результаты финального этапа можно посмотреть [по ссылке](#).





Материал подготовила:  
Альфия Хабибулина





**11.03.03 Конструирование и технология электронных средств**

- Проектирование и технология радиоэлектронных средств
- Информационные технологии в проектировании электронных средств

**40 бюджетных мест**

**4 контрактных мест**

**Магистратура**

**11.04.01 Радиотехника**

- Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов

**5 бюджетных мест**

**2 контрактных места**

**11.04.03 Конструирование и технология электронных средств**

- Микроэлектроника и техника сверхвысоких частот

**4 бюджетных места**

**2 контрактных места**

**Аспирантура**

**11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи**

**Центральный федеральный округ**

**МОСКВА**

\* **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (МИЭТ)**

**Бакалавриат**

**Институт nano- и микросистемной техники**

**11.03.03 Конструирование и технология электронных средств**

- Изделия микросистемной техники
- Роботизированные устройства и системы

**Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина (Институт МПСУ)**

**11.03.01 Радиотехника**

- Проектирование радиоинформационных систем
- Эксплуатация радиоинформационных систем

**Кафедра квантовой физики и нанoeлектроники**

**11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Квантовые приборы и нанoeлектроника

**Кафедра интегральной электроники и микросистем**

**11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Интегральная электроника и нанoeлектроника**

**Кафедра проектирования и конструирования интегральных микросхем**

**11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Автоматизированное проектирование изделий нанoeлектроники

**Магистратура**

**Институт nano- и микросистемной техники**

**11.04.03 Конструирование и технология электронных средств**

- Комплексное проектирование микросистем средствами Mentor Graphic
- Проектирование технических систем средствами 3D-моделирования

**Институт перспективных материалов и технологий**

**28.04.03 Наноматериалы**

- Технологии создания чувствительных элементов и датчиков
- Новые материалы и технологии для сенсорных систем

- Преобразование и хранение энергии для обеспечения работы электронных устройств и систем

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Материалы и технологии функциональной электроники
- Микроэлектроника и твердотельная электроника

- Энергетическая эффективность производств электронной техники
- Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина (Институт МПСУ)**

**11.04.01 Радиотехника**

- Радиолокационные системы зондирования земли

**Кафедра проектирования и конструирования интегральных микросхем**

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Автоматизированное проектирование субмикронных СБИС и систем на кристалле
- Проектирование и конструирование нанoeлектронных систем на кристалле (сетевая)

**Институт физики и прикладной математики (ФПМ)**

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Нанодиагностика материалов и структур

**Кафедра интегральной электроники и микросистем**

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Проектирование и технология устройств интегральной нанoeлектроники
- Проектирование приборов и систем

**Кафедра квантовой физики и нанoeлектроники**

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Элементная база нанoeлектроники

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

**Специалитет**

**Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»**

**11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**

- 141 бюджетных мест
- 37 контрактных мест

**12.05.01 Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения**

- 77 бюджетных мест
- 7 контрактных мест

**Бакалавриат**

**Факультет «Машиностроительные технологии»**

**11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

- 22 бюджетных мест
- 7 контрактных мест

**28.03.02 Наноинженерия**

- 59 бюджетных мест
- 18 контрактных мест

**Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»**

**28.03.02 Наноинженерия**

- 59 бюджетных мест
- 18 контрактных мест

**12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии**

- 19 бюджетных мест
- 6 контрактных мест

**12.03.02 Опотехника**

- 19 бюджетных мест
- 8 контрактных мест

**Магистратура**

**Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»**

**28.04.02 Наноинженерия**

- 10 бюджетных мест
- 6 контрактных мест

**12.04.05 Лазерная техника и лазерные технологии**

- 5 бюджетных мест
- 5 контрактных мест

**12.04.02 Опотехника**

- 5 бюджетных мест
- 5 контрактных мест

**Факультет «Машиностроительные технологии»**

- 28.04.02 Наноинженерия
- 10 бюджетных мест

- 6 контрактных мест
- 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
- 10 бюджетных мест
- 7 контрактных мест
- Факультет «Информатика, искусственный интеллект и системы управления»
- 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств
- 15 бюджетных мест
- 5 контрактных мест

\* **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ)**

**Бакалавриат**

**11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

- 25 бюджетных мест
- 2 контрактных места

**Магистратура**

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

- 8 бюджетных мест
- 1 контрактное место

**Аспирантура**

**11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи**

- 14 бюджетных места
- 7 контрактных места

\* **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)**

**Специалитет**

**Институт нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике**

**14.05.04 Электроника и автоматика физических установок**

- Ускорители заряженных частиц для радиационных технологий
- Автоматизация и информационно-измерительные системы физических установок

- Электроника физических установок (Микро- и нанoeлектронные приборы и системы для физических установок)
- Электроника физических установок (Нанoeлектронные приборы для современных физических установок)

**Бакалавриат**

**Институт нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике**

**11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Нанoeлектроника, спинтроника и фотоника
- Опто- и нанoeлектроника, инженерия наносистем

- Nanoelectronics, spintronics and photonics (англоязычная программа для иностранных студентов)

**12.03.03 Фотоника и оптоинформатика**

- Фотоника и оптические информационные технологии
- Радиофотоника

**Магистратура**

**Институт нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике**

**11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

- Нанoeлектроника, спинтроника и фотоника
- Прикладные микро- и нанoeлектроника

- Опто- и нанoeлектроника, инженерия наносистем
- Экстремальная высокопроизводительная электроника физических установок

- Nanoelectronics, Spintronics and Photonics (обучение на английском языке, только платно)

**Аспирантура**

**Институт нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике**

- 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
- 10 бюджетных мест
- 7 контрактных мест

2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств  
 2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники  
**Институт лазерных и плазменных технологий**  
 1.3.13. Электрофизика, электрофизические установки  
 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА)**

**Бакалавриат**  
**Институт перспективных технологий и индустриального программирования**  
 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
 30 бюджетных мест  
 12.05.01 Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения  
 30 бюджетных мест  
 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
 30 бюджетных мест  
**Институт радиоэлектроники и информатики**  
 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств  
 75 бюджетных мест  
 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы  
 44 бюджетных мест

**Магистратура**  
**Институт радиоэлектроники и информатики**  
 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств  
 20 бюджетных мест  
 11.04.01 Радиотехника  
 15 бюджетных мест  
**Институт перспективных технологий и индустриального программирования**  
 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника  
 11 бюджетных мест  
 12.04.02 Опотехника  
 20 бюджетных мест  
 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
 10 бюджетных мест

**Аспирантура**  
 2.2.2 Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств  
 2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники  
 2.2.6 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы  
 2.2.9 Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры

## БРЯНСК

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» (БГТУ)**

**Бакалавриат**  
 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
**Магистратура**  
 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника  
 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
**Аспирантура**  
 13.06.01 Электро- и теплотехника

## ВЛАДИМИР

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ)**

**Бакалавриат**  
**Институт прикладной математики, физики и информатики**  
 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
 20 бюджетных мест  
 1 контрактное место  
**Институт информационных технологий и радиоэлектроники**  
 11.03.01 Радиотехника  
 20 бюджетных мест  
 5 контрактных мест  
 11.03.03 Конструирование и технологии электронных средств  
 20 бюджетных мест  
 5 контрактных мест

**Магистратура**  
**Институт информационных технологий и радиоэлектроники**  
 11.4.01 Радиотехника  
 6 бюджетных мест  
 5 контрактных мест  
 11.04.03 Конструирование и технологии электронных средств  
 6 бюджетных мест  
 5 контрактных мест

## ОРЁЛ

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (ОГУ имени И.С. Тургенева)**

**Бакалавриат**  
 11.03.01 Радиотехника  
 15 бюджетных мест  
 10 контрактных мест  
 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств  
 20 бюджетных мест  
 10 контрактных мест  
**Магистратура**  
 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств  
 14 бюджетных мест  
 10 контрактных мест

## РЯЗАНЬ

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (РГРТУ)**

**Специалитет**  
 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы  
**Бакалавриат**  
 11.03.01 Радиотехника  
 ■ Радиотехнические системы локации, навигации и телевидения  
 ■ Беспроводные технологии в радиотехнических системах и устройствах  
 ■ Радиофотоника  
 11.03.03 - Конструирование и технология электронных средств  
 ■ Конструирование устройств автоматики и электроники  
 ■ Информационные технологии конструирования электронных средств  
 ■ Конструирование и технология электронно-вычислительных средств  
 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
 ■ Промышленная электроника  
 ■ Электронные приборы и устройства  
 ■ Микро- и нанoeлектроника  
 ■ Радиотехническая электроника

**Магистратура**  
 11.03.03 - Конструирование и технология электронных средств  
 ■ Информационные технологии конструирования электронных средств

■ Конструирование и технология электронно - вычислительных средств  
 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
 ■ Промышленная электроника  
 ■ Электронные приборы и устройства  
 ■ Микро- и нанoeлектроника  
 ■ Радиотехническая электроника

**Аспирантура**  
 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи  
 13.06.01 Электро- и теплотехника

## ТУЛА

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ)**

**Бакалавриат**  
 12.03.02 Опотехника  
 ■ Оптико-электронные приборы и системы  
**Магистратура**  
 12.04.02 Опотехника  
 ■ Оптические и оптико-электронные приборы  
**Аспирантура**  
 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

## БЕЛГОРОД

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова)**

**Бакалавриат**  
 28.03.02 Наноинженерия  
**Магистратура**  
 28.04.03 Наноматериалы

## КУРСК

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ)**

**Бакалавриат**  
 11.03.03-Конструирование и технология электронных средств  
 ■ Проектирование и технологии электронных средств  
 15 бюджетных мест  
 28.03.01-Нанотехнологии и микросистемная техника  
 ■ Микро- и наносистемы  
 25 бюджетных мест  
**Магистратура**  
 28.04.01-Нанотехнологии и микросистемная техника  
 ■ Микро- и наносистемы  
 4 бюджетных мест

## ЛИПЕЦК

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет» (ЛГТУ)**

**Бакалавриат**  
 28.03.02 Наноинженерия  
 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
 ■ Электропривод и автоматика  
**Магистратура**  
 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 ■ Электропривод и автоматика

## ТАМБОВ

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ)**





**Бакалавриат**

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

- Проектирование и технология радиоэлектронных средств

28.03.02 Наноинженерия

- Инженерные нанотехнологии в машиностроении

**Магистратура**

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

- Информационные технологии проектирования электронных средств

**Аспирантура**

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

28.06.01 Нанотехнологии и наноматериалы

**Приволжский федеральный округ**

**КАЗАНЬ**

- \* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ)**

**Бакалавриат**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

**85 бюджетных мест**

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**440 бюджетных мест**

**210 контрактных мест**

**Магистратура**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

**16 бюджетных мест**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

**112 бюджетных мест**

**55 контрактных мест**

- \* **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (КФУ)**

**Институт физики**

**Бакалавриат**

11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

03.03.02 Физика

- Физика квантовых систем и квантовые технологии

- Физика живых систем

03.03.03 Радиофизика

- Информационные процессы и киберфизические системы

- Квантовая и СВЧ электроника

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

- Синтез и диагностика наноматериалов, компоненты микро- и нанoeлектронной техники

**Аспирантура**

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (список тем планируемых диссертаций)

- Приборы, системы и изделия медицинского назначения

- Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

- \* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)**

**Бакалавриат**

**Физико-математический факультет (ФМФ)**

28.03.02 Наноинженерия

- Нанотехнологии

**25 бюджетных мест**

**5 контрактных мест**

16.03.01 Техническая физика

- Инженерная физика и математическое моделирование

**50 бюджетных мест**

**5 контрактных мест**

**Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий**

11.03.01 Радиотехника

- Интеллектуальная радиоэлектроника и фотоника, встроенные системы, интернет вещей

**92 бюджетных места**

**5 контрактных мест**

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

- Информационные сети, мобильная и оптическая связь, квантовые коммуникации

**92 бюджетных места**

**5 контрактных мест**

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

**42 бюджетных места**

**10 контрактных мест**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Электроника и микросхемная техника

**29 бюджетных мест**

**5 контрактных мест**

**Магистратура**

**Институт радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий**

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

**Аспирантура**

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

- 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

- 05.12.07 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

- 05.12.13 Системы, сети и устройства телекоммуникации

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

- 05.11.07 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

- 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

- 05.11.16 Информационно-измерительные и управляющие системы

13.06.01 Электро- и теплотехника

- 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

05.11.07 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

05.11.16 Информационно-измерительные и управляющие системы

13.06.01 Электро- и теплотехника

- 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

**ЙОШКАР - ОЛА**

- \* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет» («ПГТУ» Волгатех)**

**Радиотехнический факультет**

**Бакалавриат**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- Электронные приборы и устройства

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

- Проектирование и технология электронно-вычислительных средств

09.03.02 Информационные системы и технологии

- Интеллектуальные информационные системы

**Магистратура**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

11.04.03 Конструирование и технология электронных средств

- Проектирование вычислительных систем

**Аспирантура**

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

- 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

- 05.12.13 Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**УФА**

- \* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)**

**Бакалавриат**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

**25 бюджетных мест**

**5 контрактных мест**

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**42 бюджетных места**

**12 контрактных места**

28.03.02 Наноинженерия

**25 бюджетных мест**

**Магистратура**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

**14 бюджетных места**

**5 контрактных мест**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

**20 бюджетных мест**

**20 контрактных мест**

28.04.02 Наноинженерия

**8 бюджетных мест**

**Аспирантура**

28.06.01 Нанотехнологии и наноматериалы

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

**ПЕНЗА**

- \* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет» (ПУ)**

**Бакалавриат**

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

**48 бюджетных мест**

**30 контрактных мест**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

**22 бюджетных мест**

**30 контрактных мест**

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**33 бюджетных мест**

**30 контрактных мест**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

**22 бюджетных мест**

**30 контрактных мест**

**Специалитет**

12.05.01 Электронные и оптоэлектронные приборы и системы специального назначения

**15 бюджетных мест**

**25 контрактных мест**

**Магистратура**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

**11 бюджетных мест**

**10 контрактных мест**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

**5 бюджетных мест**

**30 контрактных мест**

11.04.03 Конструирование и технология электронных средств  
26 бюджетных мест  
40 контрактных мест

## ОРЕНБУРГ

\* Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» (ОГУ)

### Бакалавриат

Институт энергетики, электроники и связи

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

- Электронные средства телекоммуникаций

40 бюджетных мест  
20 контрактных мест

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- Промышленная электроника

35 бюджетных мест  
20 контрактных мест

### Физический факультет

03.03.03 Радиофизика

- Квантовая электроника

10 бюджетных мест  
10 контрактных мест

03.03.02 Физика

- Физика наноматериалов

20 бюджетных мест  
10 контрактных мест

### Магистратура

Институт энергетики, электроники и связи

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

- Электронные приборы и устройства

20 контрактных мест

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

- Автоматизированные энергетические системы и комплексы

- Электромеханические комплексы

и их исследование  
18 бюджетных мест  
40 контрактных мест

## НИЖНИЙ НОВГОРОД

\* Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

### Специалитет

Институт радиоэлектроники и информационных технологий

11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

- Радиолокационные системы и комплексы

### Бакалавриат

Институт электроэнергетики

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- Промышленная электроника и микропроцессорная техника

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

- Электромеханические системы автономных объектов

- Электротехнологические установки и системы

- Электрооборудование автомобилей
- Электропривод и автоматика
- Электроэнергетические системы

и сети

- Электроснабжение и релейная защита

Институт физико-химических технологий и материаловедения

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- Нанотехнологии в электронике

Институт радиоэлектроники и информационных технологий

11.03.01 Радиотехника

- Радиоэлектронные системы

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

- Конструирование и технология

электронных устройств

### Магистратура

Институт радиоэлектроники и информационных технологий

11.04.03 Конструирование и технология электронных средств

Институт электроэнергетики

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Институт физико-химических технологий и материаловедения

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

## САРАТОВ

\* Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина» (СГТУ имени Ю.А. Гагарина)

Институт электронной техники и приборостроения

### Бакалавриат

11.03.01 Радиотехника

- Устройства передачи, приема и обработки сигналов

15 бюджетных мест

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

- Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа

15 бюджетных мест

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- Электронные приборы и устройства

25 бюджетных мест

### Магистратура

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

- Сети, системы и устройства телекоммуникаций

10 бюджетных мест

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

- Электронные приборы и устройства
- Промышленная электроника

15 бюджетных мест

### Аспирантура

2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника

2 бюджетных места

1 контрактное место

2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

2 бюджетных места

1 контрактное место

2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства

и их технологии

2 бюджетных места

1 контрактное место

2.2.5. Приборы навигации

2 бюджетных места

1 контрактное место

2.4.4. Электротехнология и электрофизика

2 бюджетных места

1 контрактное место

2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы

2 бюджетных места

1 контрактное место

## ПЕРМЬ

\* Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ)

### Электротехнический факультет

#### Бакалавриат

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

- Автоматизированный электропривод

- и робототехнические комплексы

- Конструирование и технологии в электротехнике

- Электромеханика

- Накопители энергии, передача и распределение электрической энергии

- Электроснабжение

#### Магистратура

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

- Концептуальное проектирование и инжиниринг повышения энергоэффективности (сетевая образовательная программа)

- Цифровизация электротехнических комплексов предприятий (сетевая образовательная программа)

- Управление и информационные технологии в электротехнике

- Электромеханика

- Автоматизация в электроэнергетике

- и электротехнике

## Южный федеральный округ

### ВОЛГОГРАД

\* Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ)

#### Бакалавриат

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

#### Магистратура

03.04.02 Физика

- Физика радиоэлектронных технологий

#### Аспирантура

03.06.01 Физика и астрономия

- Физическая электроника

### АСТРАХАНЬ

\* Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет» (АГУ)

Факультет физики, математики и инженерных технологий

#### Бакалавриат

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- Инжиниринг аналоговых и цифровых

- сложно функциональных систем

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

- Электрооборудование и электрохозяйство

- предприятий, организаций и учреждений

#### Магистратура

22.04.01 Материаловедение и технологии

материалов

- Материаловедение и технологии наноматериалов и покрытий

### РОСТОВ-НА-ДОНУ

\* Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

#### Бакалавриат

11.03.01 Радиотехника

- Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

- Сети связи и системы коммутации

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Промышленная электроника и микропроцессорная техника

- Светотехника и источники света

28.03.02 Наноинженерия

- Функциональные наноматериалы

**Магистратура**

28.04.03 Наноматериалы

- Наноматериалы и нанотехнологии

## ТАГАНРОГ

\* **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (ЮФУ)**

**Бакалавриат**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

**25 бюджетных мест**

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

**25 бюджетных мест**

28.03.02 Наноинженерия

**25 бюджетных мест**

**Магистратура**

03.04.02 Физика

■ Nanoscale Structure of Materials (Наноразмерная структура материалов)

- Физика интеллектуальных материалов и моделирование экосистем

- Физика квантовых материалов

и наноструктур

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

- Материаловедение наносистем

- Новые материалы и технологии наносистем

28.04.02 Наноинженерия

- Nanoengineering and Materials Technology (Наноинженерия и технологии материалов)

## НОВОЧЕРКАССК

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» (ЮРГПУ (НПИ))**

**Бакалавриат**

**Институт фундаментального инженерного образования**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- Нанотехнология в электронике

**Факультет информационных технологий и управления**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

- Инфокоммуникационная и промышленная электроника

**Магистратура**

**Институт фундаментального инженерного образования**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

- Нанотехнология в электронике

**Факультет информационных технологий и управления**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Инфокоммуникационная и промышленная электроника

## Северо-Кавказский федеральный округ

### МАХАЧКАЛА

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет» (ДГТУ)**

**Факультет радиоэлектроники, телекоммуникаций и мультимедийных технологий**

**Бакалавриат**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Электронные приборы и устройства

11.03.01 Радиотехника

■ Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов

■ Средства радиоэлектронной борьбы

28.03.02 Наноинженерия

■ Инженерные нанотехнологии

в приборостроении

28.03.03 Наноматериалы

■ Наноматериалы

**Магистратура**

11.04.01 Радиотехника

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

12.04.04 Биотехнические системы и технологии

**Аспирантура**

03.06.01 Физика и астрономия

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и фототехнические системы и технологии

### НАЛЬЧИК

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)**

**Институт информатики, электроники и робототехники**

**Бакалавриат**

11.03.01 Радиотехника

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

**Магистратура**

11.04.01 Радиотехника

■ Интегрированные системы безопасности с распределенной архитектурой

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Современные информационные технологии и методы диагностики в электронике и нанoeлектронике

## Уральский федеральный округ

### ЕКАТЕРИНБУРГ

\* **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина)**

**Бакалавриат**

**Институт естественных наук и математики**

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

■ Нанотехнологии и микросистемная техника

**Физико-технологический институт**

28.03.02 Наноинженерия

■ Наноинженерия

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Электроника и нанoeлектроника

**Магистратура**

**Институт естественных наук и математики**

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

■ Материалы микро- и наносистемной техники

**Физико-технологический институт**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Материалы микро- и нанoeлектроники

■ Физическая электроника

28.04.02 Наноинженерия

■ Наноинженерия материалов

и устройств

## МАГНИТОГОРСК

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (МГТУ им. Г.И. Носова)**

**Кафедра электроники и микроэлектроники**

**Бакалавриат**

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Программирование и электроника информационных систем

**Магистратура**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Промышленная электроника и автоматика

электротехнических комплексов

**Аспирантура**

13.06.01 Электро-теплотехника

■ Электротехнические комплексы и системы

и системы

## Сибирский федеральный округ

### НОВОСИБИРСК

\* **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ)**

**Факультет радиотехники и электроники**

**Бакалавриат**

11.03.04 Электроника и микроэлектроника

■ Микроэлектроника и нанoeлектроника

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

■ Нанотехнология

■ Микросистемная техника

**Магистратура**

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

■ Микро- и нанoeлектроника

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

техника

- Материалы микро- и наносистемной техники
- Компоненты микро- и наносистемной техники

#### Аспирантура

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

03.06.01 Физика и астрономия

13.06.01 Электротехнические комплексы и системы

## ТОМСК

★ **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)**

#### Бакалавриат

**Радиоконструкторский факультет**

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

■ Проектирование и технология радиоэлектронных средств

■ Проектирование и технология электронно-вычислительных средств

■ Электронные технологии наземного и космического назначения

**93 бюджетных мест**

12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

■ Электронное приборостроение

**16 бюджетных мест**

**Факультет электронной техники**

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

■ Квантовая и оптическая электроника

■ Микроэлектроника и твердотельная электроника

■ Программирование микропроцессорной техники

■ Промышленная электроника

**155 бюджетных мест**

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

■ Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике

**65 бюджетных мест**

**Факультет электронной техники**

27.03.05 Инноватика

■ Управление инновациями в электронной технике

**13 бюджетных мест**

#### Магистратура

**Радиотехнический факультет**

09.04.01 Информатика и вычислительная техника

■ Автоматизация проектирования микро- и наноэлектронных устройств для радиотехнических систем

**5 бюджетных мест**

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

■ Защищенные системы связи

**9 бюджетных мест**

■ Оптические системы связи и обработки информации

**5 бюджетных мест**

■ Радиоэлектронные системы передачи информации

**7 бюджетных мест**

■ Системы беспроводной связи

и Интернета вещей

**6 бюджетных мест**

■ Электромагнитная совместимость радиоэлектронной аппаратуры

**5 бюджетных мест**

**Радиоконструкторский факультет**

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

■ Конструирование и производство бортовой космической радиоаппаратуры

**10 бюджетных мест**

- Приборы и методы контроля

**10 бюджетных мест**

**Факультет электронной техники**

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

■ Квантовая и оптическая электроника

**8 бюджетных мест**

■ Промышленная электроника и микропроцессорная техника

**11 бюджетных мест**

■ Твердотельная электроника

**20 бюджетных мест**

■ Электронные приборы и устройства

сбора, обработки и отображения информации

**11 бюджетных мест**

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

■ Фотоника волноводных, нелинейных и периодических структур

**7 бюджетных мест**

**Факультет инновационных технологий**

27.04.05 Инноватика

■ Управление инновациями в электронной технике

**3 бюджетных места**

#### Аспирантура

03.06.01 Физика и астрономия

■ 01.04.04 Физическая электроника

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

■ 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

■ 05.12.07 Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

■ 05.12.14 Радиолокация и радионавигация

■ 05.27.02 Вакуумная и плазменная электроника

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

■ 05.11.07 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

■ 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

13.06.01 Электро- и теплотехника

■ 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы

■ 05.09.12 Силовая электроника

## ОМСК

★ **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ОмГУПС)**

#### Аспирантура

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

■ Системы, сети и устройства телекоммуникаций

13.06.01 Электро- и теплотехника

■ Электромеханика и электрические аппараты

■ Электротехнические комплексы и системы

## КРАСНОЯРСК

★ **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ)**

**Институт инженерной физики и радиоэлектроники**

#### Бакалавриат

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

**20 бюджетных мест**

**1 контрактное место**

#### Магистратура

11.04.03 Конструирование и технология электронных средств

■ Радиоэлектронные средства специального назначения и технология их производства

**12 бюджетных места**

16.04.01 Техническая физика

■ Оптическая физика и квантовая электроника

**12 бюджетных места**

#### Аспирантура

11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

**8 бюджетных мест**

**1 контрактное место**

## ИРКУТСК

★ **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИРНИТУ)**

#### Бакалавриат

28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

**22 бюджетных места**

**10 контрактных мест**

#### Магистратура

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

**15 контрактных мест**

## Дальневосточный федеральный округ

### ВЛАДИВОСТОК

★ **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ИРНИТУ)**

#### Бакалавриат

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

**25 бюджетных мест**

**5 контрактных мест**

#### Магистратура

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

**20 бюджетных мест**

**2 контрактных места**

## КОМСОМОЛЬСК - НА - АМУРЕ

★ **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (КНАГУ)**

#### Бакалавриат

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

■ Промышленная электроника

■ Проектирование электронных устройств

#### Магистратура

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

■ Промышленная электроника



# ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ РОБОТОТЕХНИКИ, СОБРАННЫЕ В ОДНОМ МЕСТЕ

Университет Иннополис предлагает всем, кто заинтересован в робототехнике и хочет знать, какие достижения в данной области уже сейчас перестали быть фантастикой, ознакомиться с содержанием выпущенных в рамках университета дайджестов. Читайте дайджесты Университета Иннополис и узнавайте больше о мире робототехники.

## « Дайджест о беспилотном наземном транспорте «КТО ВОДИТ?»

В этом дайджесте Университет Иннополис обратился ко многим значимым вопросам в области развития беспилотного транспорта, обозначил уровень развития технологии в России, показал последние достижения в этой области.

В дайджесте представлена информация о:

- рынке беспилотного наземного транспорта;
- развитии беспилотного транспорта в России и в мире;
- технологиях беспилотного транспорта;
- интеллектуальной транспортной системе.

Помимо этого в выпуске отражены мнения ведущих специалистов области и многое другое.



Читайте дайджест «КТО ВОДИТ?»

## « Дайджест о беспилотных летательных аппаратах «ЧТО МЫ УВИДИМ В НЕБЕ»

Читатель найдет как общую информацию о рынке беспилотных авиационных систем, так и информацию о существующих барьерах рынка, которые необходимо преодолеть, чтобы полеты летательных аппаратов были безопасными и стабильно устойчивыми.

Издание знакомит читателей с:

- технологическими аспектами: типами используемых двигателей, наиболее перспективной конфигурацией летательного аппарата и т. д.;
- мнениями представителей передовых компаний отрасли;
- информацией о предстоящих конференциях и других событиях;
- информацией о получении образования в индустрии беспилотных авиационных систем.



Читайте дайджест «ЧТО МЫ УВИДИМ В НЕБЕ»

## « Дайджест о промышленной робототехнике «6 СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ»

В этом выпуске команда Университета Иннополис представила картину современной промышленной робототехники, показала перспективные разработки, тенденции и проблемы, с которыми сталкивается эта отрасль науки. На страницах журнала читатель сможет найти:

- анализ рынка и историю становления современной промышленной робототехники;
- интервью с ведущими игроками рынка;
- обзор новинок и достижений области;
- аналитические материалы по различным аспектам промышленной робототехники.



Читайте дайджест «6 СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ»

## НАС ЧИТАЮТ

Дайджест ориентирован на широкую аудиторию, однако мы стараемся в каждом номере более детально освещать отдельные технологические, юридические и научные вопросы. Среди наших читателей государственные служащие и бизнесмены, университетские преподаватели и учёные, студенты и специалисты в робототехнике.

Основной канал продвижения – электронная версия дайджеста, доступная на сайте Центра робототехники Университета Иннополис.

Печатная версия дайджеста распространяется среди партнёров Центра робототехники и в правящих кругах Республики Татарстан, а также среди участников бизнес-мероприятий и совещаний правительственного и межправительственного уровней, которые регулярно проводятся в г. Иннополис.

# КАЛЕНДАРЬ КОНФЕРЕНЦИЙ / МЕРОПРИЯТИЙ

**XI ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ: ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ - МЭС-2022**

март-ноябрь 2022  
Зеленоград, Россия

Дедлайн для подачи статей: 01.09.2022

**ICEET 2022 – The 9th International Conference on Electronics Engineering and Technology**

01.07 - 03.07.2022  
Тяньцзинь, Китай

Дедлайн для подачи статей: 15.05.2022

**ICMOVPE XX – 20th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy**

10.07 - 14.07.2022  
Штутгарт, Германия

Дедлайн для подачи статей: 01.03.2022

**HiTen 2022 – International Conference and Exhibition on High Temperature Electronics Network**

18.07 - 20.07.2022  
Оксфорд, Великобритания

Дедлайн для подачи статей: 15.06.2022

**ICESC 2022 – 3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems**

17.08 - 19.08.2022  
Коимбатур, Индия

Дедлайн для подачи статей: 27.06.2022

**SPIE OP22 – SPIE Optics + Photonics 2022**

21.08 - 25.08.2022  
Сан-Диего, Калифорния, США

**AE 2022 – 27th International Conference on Applied Electronics Pilsen**

06.09 - 07.09.2022  
Пльзень, Чехия

Дедлайн для подачи статей: 24.04.2022

**19th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (2022)**

11.09 - 16.09.2022  
Давос, Швейцария

**IEEE-PEMC 2022 – 20th International Power Electronics and Motion Control Conference**

25.09 - 28.09.2022  
Брашов, Румыния

Дедлайн для подачи статей: 15.07.2022

**IMAPS 2022 – 55th International Symposium on Microelectronics**

04.10 - 06.10.2022  
Бостон, США

Дедлайн для подачи статей: 01.09.2022

**IEEE APCCAS 2022 – 18th Asia Pacific Conference on Circuits and Systems**

11.10 - 13.10.2022  
Шэньчжэнь, Китай

Дедлайн для подачи статей: 06.07.2022

**ISLC 2022 – 28th International Semiconductor Laser Conference**

16.10 - 19.10.2022  
Мацуэ, Япония

Дедлайн для подачи статей: 23.05.2022

**IECON 2022 / ICELIE 2022 – 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society / 9th IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics**

17.10 - 20.10.2022  
Брюссель, Бельгия

Дедлайн для подачи статей: 20.06.2022

**IMPACT – 17th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference**

26.10 - 28.10.2022  
Тайбэй, Тайвань

Дедлайн для подачи статей: 24.06.2022

**ICIEA 2022 – 17th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications**

16.12 - 19.12.2022  
Чэнду, Китай

Дедлайн для подачи статей: 31.07.2022

**ISIE 2023 – 32nd International Symposium on Industrial Electronics**

19.06 - 23.06.2023  
Хельсинки, Финляндия

Дедлайн для подачи статей: 31.01.2023

# КАЛЕНДАРЬ ВЫСТАВОК

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <p>1</p> <p><b>SEMICON West</b></p> <p>12.07- 14.07.2022<br/>Сан-Франциско, США </p>  | <p>2</p> <p><b>Productronica 2022</b></p> <p>13.07 - 15.07.2022<br/>Шанхай, Китай </p>  | <p>3</p> <p><b>CEF Chengdu 2022</b></p> <p>14.07 - 16.07.2022<br/>Чэнду, Китай </p>   |
| <p>4</p> <p><b>NEPCON Japan</b></p> <p>31.08 - 02.09.2022<br/>Токио, Япония </p>  | <p>5</p> <p><b>ChipEXPO 2022</b></p> <p>13.09 - 15.09.2022<br/>Москва, Россия </p>  | <p>6</p> <p><b>Elexcon 2022</b></p> <p>14.09 - 16.09.2022<br/>Шэньчжэнь, Китай </p>   |
| <p>7</p> <p><b>SEMICON Taiwan</b></p> <p>14.09 - 16.09.2022<br/>Тайпей, Тайвань </p>  | <p>8</p> <p><b>KPCAShow2022 (Int'l Electronic Circuits and Packaging Show)</b></p> <p>21.09 - 23.09.2022<br/>Инчхон, Южная Корея </p> | <p>9</p> <p><b>Micronora - Salon international des microtechniques</b></p> <p>27.09 - 30.09.2022<br/>Безансон, Франция </p> |
| <p>10</p> <p><b>IMAPS 2022 - 55th International Symposium on Microelectronics</b></p> <p>04.10 - 06.10.2022<br/>Бостон, США </p> | <p>11</p> <p><b>SEMICON China</b></p> <p>05.10 - 07.10.2022<br/>Шанхай, Китай </p>   | <p>12</p> <p><b>ElectronicAsia 2022</b></p> <p>13.10 - 16.10.2022<br/>Гонконг, Китай </p>                                  |
| <p>13</p> <p><b>NEPCON Nagoya</b></p> <p>26.10 - 28.10.2022<br/>Нагоя, Япония </p>  | <p>14</p> <p><b>CEF Shanghai 2022</b></p> <p>14.11 - 16.11.2022<br/>Шанхай, Китай </p>  | <p>15</p> <p><b>SEMICON Europe</b></p> <p>15.11 - 18.11.2022<br/>Мюнхен, Германия </p>                                    |
| <p>16</p> <p><b>Энерго-Volga 2022</b></p> <p>23.11 - 25.11.2022<br/>Волгоград, Россия </p>                                      | <p>17</p> <p><b>SEMICON Japan</b></p> <p>14.12 - 16.12.2022<br/>Токио, Япония </p>  | <p>18</p> <p><b>International CES 2023</b></p> <p>05.01 - 08.01.2023<br/>Лас Вегас, США </p>                              |
| <p>19</p> <p><b>NEPCON Japan</b></p> <p>25.01 - 27.01.2023<br/>Токио, Япония </p>   | <p>20</p> <p><b>SEMICON Korea</b></p> <p>01.02 - 03.02.2023<br/>Сеул, Корея </p>  | <p>21</p> <p><b>ЭкспоЭлектроника 2023</b></p> <p>11.04 - 13.04.2023<br/>Москва, Россия </p>                               |
| <p>22</p> <p><b>ElectronTechExpo 2023</b></p> <p>11.04 - 13.04.2023<br/>Москва, Россия </p>                                     | <p>23</p> <p><b>Elektronik Goteborg 2023</b></p> <p>19.04 - 20.04.2023<br/>Гетеборг, Швеция </p>                                    | <p>24</p> <p><b>Productronica 2023</b></p> <p>14.11 - 17.11.2023<br/>Мюнхен, Германия </p>                                |



ЦЕНТР  
ТЕХНОЛОГИЙ  
КОМПОНЕНТОВ  
РОБОТОТЕХНИКИ  
И МЕХАТРОНИКИ

## НАД ВЫПУСКОМ РАБОТАЛИ:

Александр Малолетов, Рафаэль Ильясов, Алина Винова,  
Лейсан Василова, Гузель Низамова, Оксана Федотова, Мари-  
анна Филиппова, Альфия Хабибуллина, Алик Ковалинский,  
Алексей Малюков, Дарья Гаязова, Екатерина Еремеева.

# INNOPOLIS UNIVERSITY

## ФОНД НТИ

Фонд Национальной  
технологической инициативы

При финансовой поддержке Фонда НТИ в рамках реализации Программы Центра НТИ по направлению «Технологии компонентов робототехники и мехатроники» на базе АНО ВО «Университет Иннополис»



ЦЕНТР  
ТЕХНОЛОГИЙ  
КОМПОНЕНТОВ  
РОБОТОТЕХНИКИ  
И МЕХАТРОНИКИ