



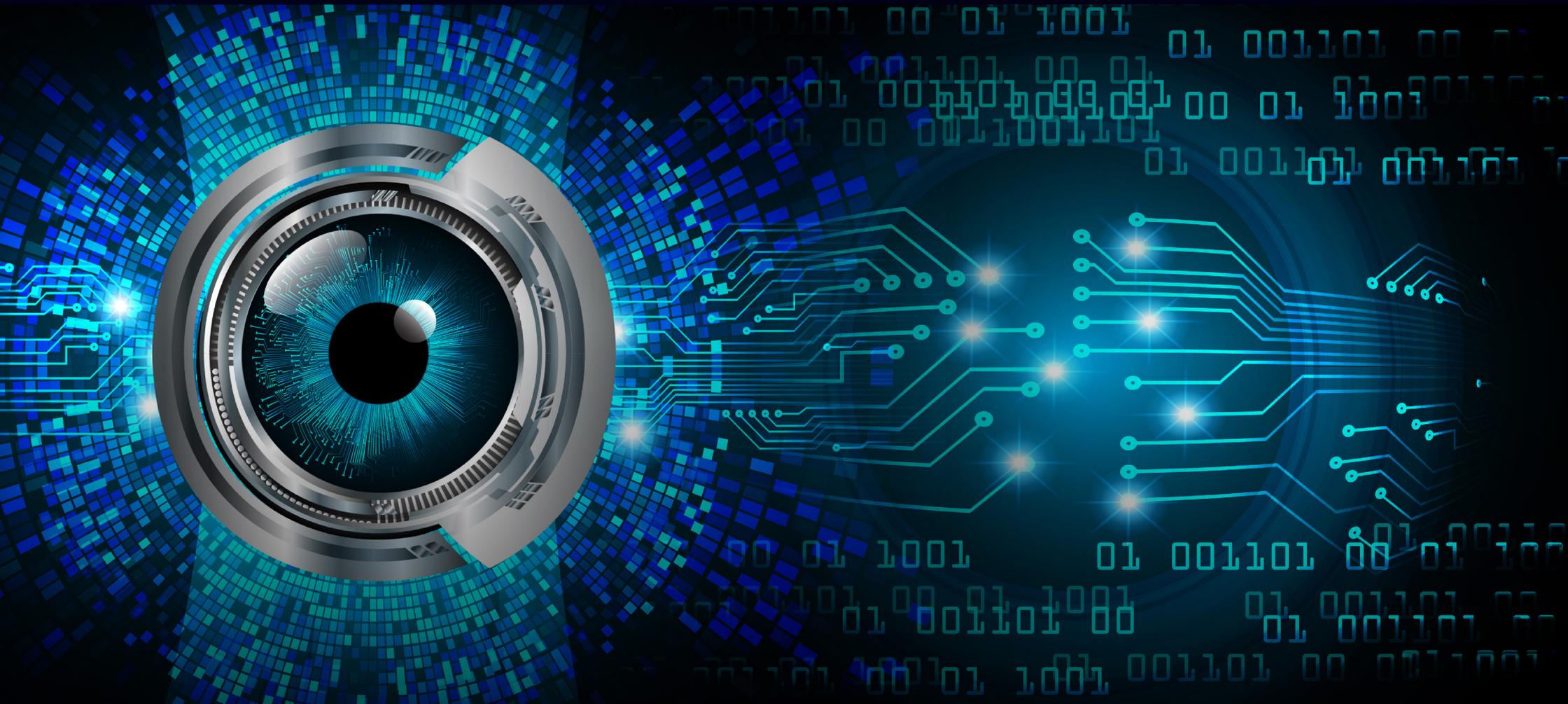
КОМПЛЕКС ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
И ИМУЩЕСТВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ  
ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ



ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ  
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ  
ГОРОДА МОСКВЫ

**АПР**

АГЕНТСТВО  
ПРОМЫШЛЕННОГО  
РАЗВИТИЯ МОСКВЫ



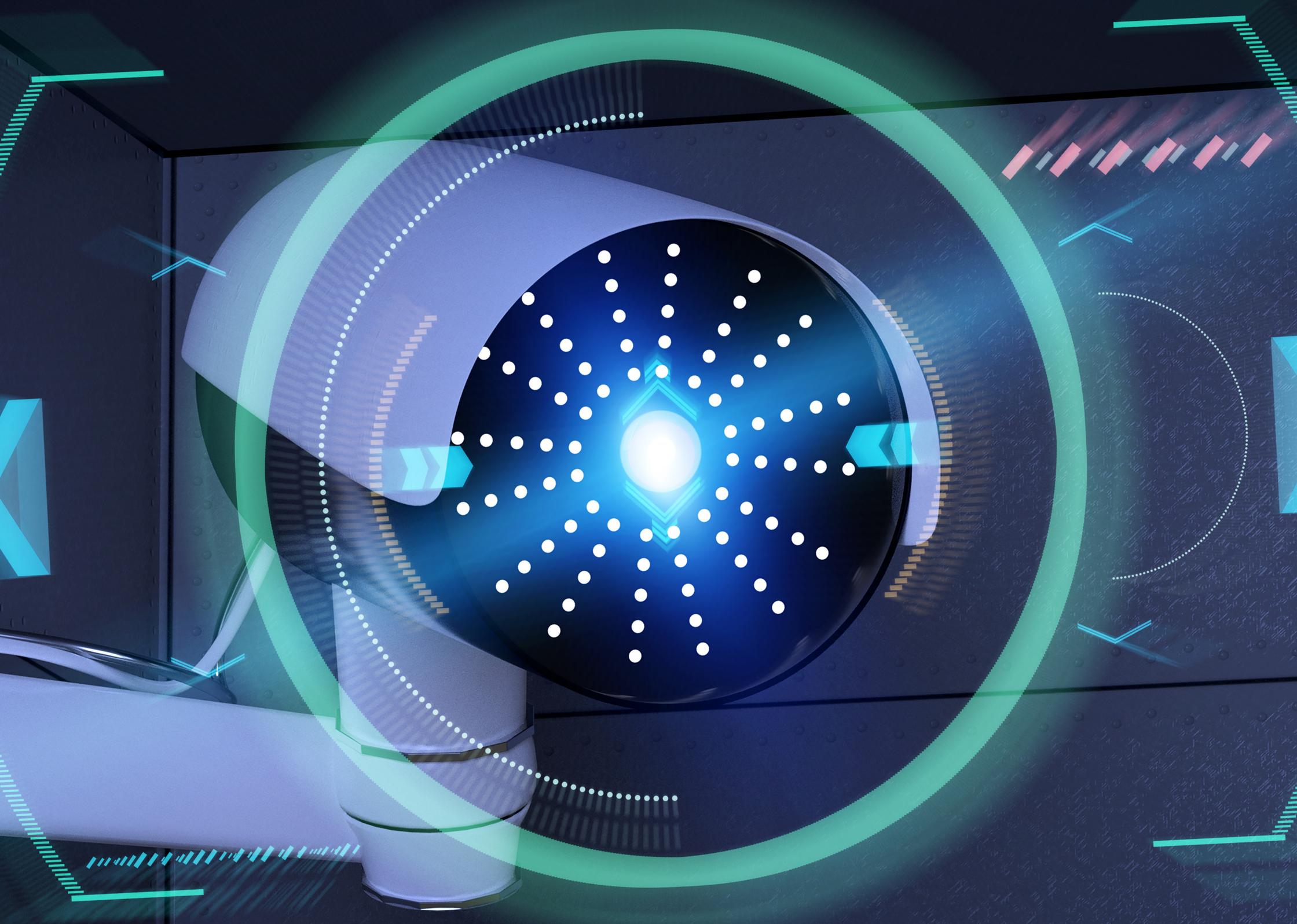
# МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ

и технологии сенсорики

Москва | 2020 год

# СОДЕРЖАНИЕ

|  |       |  |       |
|--|-------|--|-------|
| Основные термины и определения.....                | 4-5   | 6 ОСНОВНЫЕ ПОСТАВЩИКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ..... | 60-82 |
| Введение.....                                      | 6-7   | Мировые поставщики и производители.....    | 60-69 |
| История.....                                       | 8-9   | Российские производители.....              | 70-74 |
| <b>1</b> ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ.                         |       | Московские производители.....              | 74-83 |
| ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ.....                      | 12-24 | Заключение.....                            | 84-85 |
| <b>2</b> СОСТАВ (СТРУКТУРА) ТЕХНОЛОГИИ             |       | Перечень источников информации.....        | 86-88 |
| И КЛАССИФИКАЦИЯ.....                               | 28-31 |  |       |
| <b>3</b> ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ                 |       |  |       |
| ТЕХНОЛОГИИ.....                                    | 34-35 |  |       |
| <b>4</b> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ. |       |  |       |
| ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ.....                        | 38-41 |  |       |
| <b>5</b> ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ                        |       |  |       |
| ТЕХНОЛОГИИ.....                                    | 44-47 |  |       |
| <b>6</b> ПРИМЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ И/ИЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ     |       |  |       |
| ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....                   | 50-53 |  |       |
| <b>7</b> КООПЕРАЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ          |       |  |       |
| ЦЕПОЧКИ.....                                       | 56-57 |  |       |



# ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

## **3D HD – High Definition**

Разрешение 1920×1080 точек (пикселей) и частотой кадров не менее 24/сек 3D формате.

## **3G**

(Third generation) 3 поколение мобильной связи.

## **4G**

(Fourth generation) 4 поколение мобильной связи.

## **Big Data**

Большие данные (обозначение структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов и значительного многообразия).

## **Bluetooth**

Производственная спецификация беспроводных персональных сетей.

## **CV**

(Computer vision) компьютерное зрение.

## **FPGA**

(Field-Programmable Gate Array) программируемая логическая матрица.

## **GPS**

Местоположение во всемирной системе координат (Global Positioning System) спутниковая система навигации, обеспечивающая измерение расстояния, времени и определяющая.

## **Датчик**

В рамках данного исследования датчиком признается электронное и/или механическое устройство детектирующее изменение состояния объекта или среды без непосредственного вычисления величины таких

изменений в относительных или абсолютных показателях. Например, датчик света — имеет два состояния: темно/светло; датчик движения — движение есть/нет; датчик прикосновения (сенсорная кнопка) — контакт есть/нет. Датчик не включает в себя узел обработки информации. Датчики могут входить в состав сенсоров.

## **Микроконтроллер (однокристалльный микро — ЭВМ)**

Микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами, и включающая в себя процессорную часть, оперативную и/или постоянную память, и периферийные устройства ввода-вывода, таймеры аналоговые и цифровые преобразователи и т.п.

## **Сенсор**

В рамках данного исследования сенсором признается электронное и/или механическое устройство способное производить измерения состояния объектов, среды или физических величин с вычислением величины таких измерений в относительных или абсолютных показателях. Сенсор включает в себя узел обработки информации в аналоговый или цифровой сигнал. К таким устройствам относят сенсоры освещенности, температуры, влажности, давления, гироскопы, акселерометры, магнетометры и т.д.

## **Устройство (сущ.)**

Сложный технический объект (прибор, механизм, конструкция, установка) со сложной внутренней структурой и предназначенный для выполнения определённых функций.

ных функций.

## **Гироскоп (электронный)**

Устройство определяющее угловую скорость/ угол поворота относительно инерциальной системы отсчёта.

## **Акселерометр (электронный)**

Устройство измеряющее проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением).

## **Магнетометр (электронный компас)**

Устройство способное производить измерения характеристик магнитного поля и магнитных свойств материалов.

## **Электронный нос**

Электронный прибор, предназначенный для определения запахов или привкусов, основанный на принципе анализа не отдельных веществ в газах, а их совокупности.

## **ЯМР-гироскоп («квантовый» гироскоп)**

Электронный гироскоп, принцип работы которого основан на эффекте ядерно-магнитного резонанса атомов рабочего вещества (измерение спиновых моментов атомов рабочего вещества).

## **IoT англ. internet of things**

Концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей как явление, способное перестроить экономические

и общественные процессы, исключающее из части действий и операций необходимость участия человека.

**IIOT** англ. **industrial internet of things**

Промышленный интернет вещей – многоуровневая система, включающая в себя датчики и контроллеры, установленные на узлах и агрегатах промышленного объекта, средства передачи собираемых данных и их визуализации, мощные аналитические инструменты интерпретации получаемой информации и многие другие компоненты.

**MEMS (МЭМС)** англ. **micro-electro-mechanical systems**

Электронные устройства, обычно выполненные в виде корпусированных микросхем и электронных компонентов, объединяющие в себе взаимосвязанные интегральные схемы и микромеханические системы.

**LIDAR** англ. **light detection and ranging**

Технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих свойства света в оптически прозрачных средах.

**Plug&Play**

Технология, предназначенная для быстрого определения и конфигурирования устройств в компьютере.

**TCP/IP**

(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) протокол управления передачей/межсетевой протокол.

**Wi-Fi**

(Wireless Fidelity) технология беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11.

**АО**

Акционерное общество.

**ВАХ**

Вольтамперная характеристика.

**ГК**

Государственная корпорация.

**ГОК**

Горно-обогатительный комбинат.

**ГСН**

Головка самонаведения.

**ДК**

Дорожная карта.

**ИК**

Инфракрасное излучение.

**ИС**

Интегральная схема.

**КНС**

Кремний на сапфире.

**НПК**

Научно-производственный комплекс.

**НПП**

Научно-производственное предприятие.

**НТИ**

Национальная технологическая инициатива.

**ОАО**

Открытое акционерное общество.

**ООО**

Общество с ограниченной ответственностью.

**ОПК**

Оборонно-промышленный комплекс.

**ПАО**

Публичное акционерное общество.

**ПЛИС**

Программируемые логические интегральные схемы.

**ПО**

Программное обеспечение.

**РТК**

Робототехнический комплекс.

**САУО**

Система автоматического управления отопителем.

**СВЧ**

Сверхвысокочастотное излучение.

**СЦТ**

Сквозная цифровая технология.

**США**

Соединенные Штаты Америки.

**УЗИ**

Ультразвуковое исследование.

**УФ**

Ультрафиолетовое излучение.

**ЧПУ**

Числовое программное управление.

**ЭСУД**

Электронно-цифровая система управления двигателем.

## ВВЕДЕНИЕ

Сенсорика — базовая технологическая компетенция, обеспечивающая цифровые системы информацией о внешней среде и физических параметрах различных объектов. Одна из сквозных технологий, которая, предположительно, будет определять структуру мировой экономики в ближайшие 15–20 лет.

Понятие «Промышленная сенсорика» подразумевает внедрение различных сенсоров и датчиков, а также устройств управления (микроконтроллеров) в технологические процессы и производственное оборудование предприятия с целью автоматизации и цифровизации производственных процессов.

Сенсоры и датчики — это электронные и/или механические устройства способные производить измерения или детектировать изменения состояния объектов, среды или физических величин. Сенсоры способны воспринимать воздействие внешних факторов и преобразовывать их в электрические сигналы для последующей обработки.

**При создании интеллектуальных систем и продуктов как правило применяются электронные сенсоры различного назначения. Интеграция сенсоров в промышленную продукцию стала особенно актуальна для таких отраслей как:**

- радиоэлектроника и приборостроение;
- автомобилестроение;

- медицинское оборудование;
- станкостроение;
- робототехника;
- авиа- и судостроение;
- энергетика и добыча полезных ископаемых и т.д.

В связи с чем Правительство России с целью сокращения технологического отставания разработало и утвердило федеральный проект «Цифровые технологии» в рамках которого утверждены дорожные карты развития сквозных цифровых технологий «Компоненты робототехники и сенсорики» и «Квантовые сенсоры и метрология» со сроками реализации до 2024 года. Однако в связи со сложной экономической и эпидемиологической ситуацией в стране планируется секвестирование бюджета данного проекта с 24 до 7 млрд рублей, что приведет к срыву проекта либо к его отсрочке.

Машинное зрение (компьютерное зрение, техническое зрение) как одна из самых сложных и больших областей в сенсорики сформировалось как самостоятельная дисциплина к концу 60-х годов в рамках исследований машинного обучения и искусственных нейронных сетей.

Машинное зрение выделилось из работ по распознаванию образов, когда была осознана математическая специфика данного процесса — фотоизображение представляет собой двумерную проекцию трехмерного мира, т.е. вырожденное преобразование. Это оз-

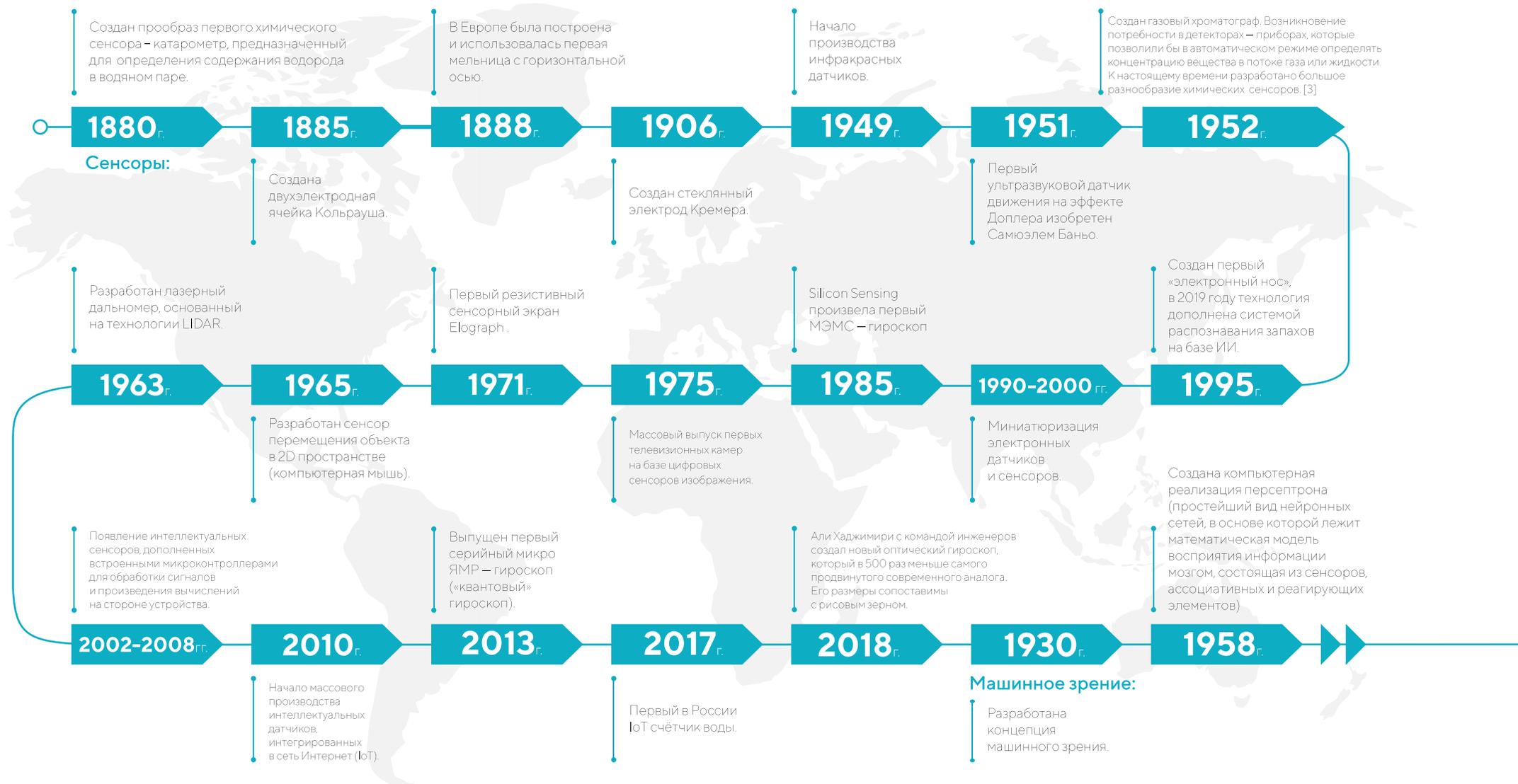
начает, что для полного и правильного разъяснения того, что изображено, необходимо обладать дополнительной информацией. По аналогии со зрением человека, в качестве способов получения дополнительной информации стали рассматривать движение зрительного устройства (активный осмотр), использование стереопары, применение априорных моделей увиденного как геометрических, так и содержательных, семантических. [10]

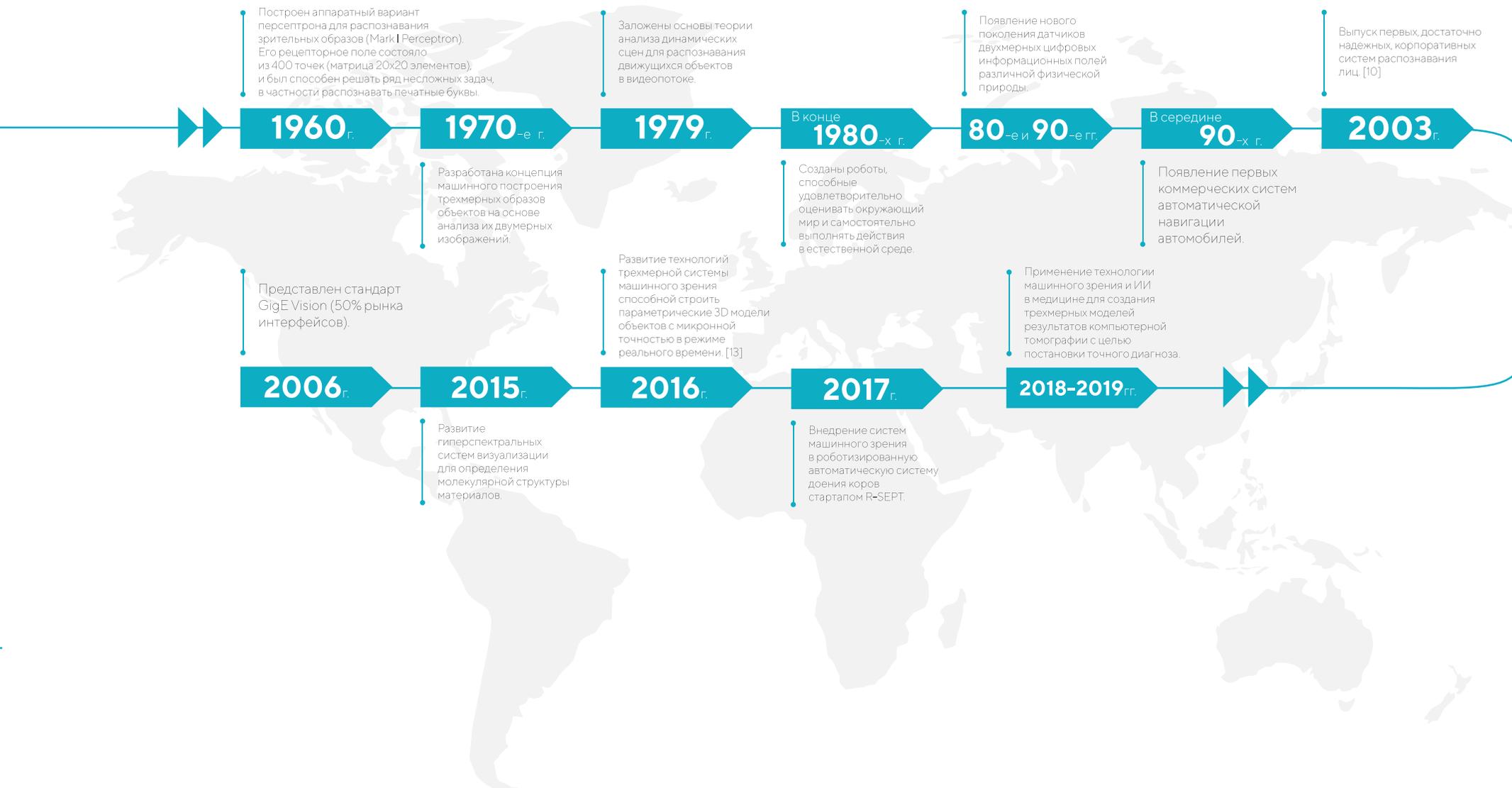
Машинное зрение — необходимый компонент современных технологий и перспективный способ автоматизации действий с применением компьютерных технологий и робототехники. Системы машинного зрения подразумевают преобразование данных, поступающих с устройств захвата изображения, с выполнением дальнейших операций на основе этих данных. [9]

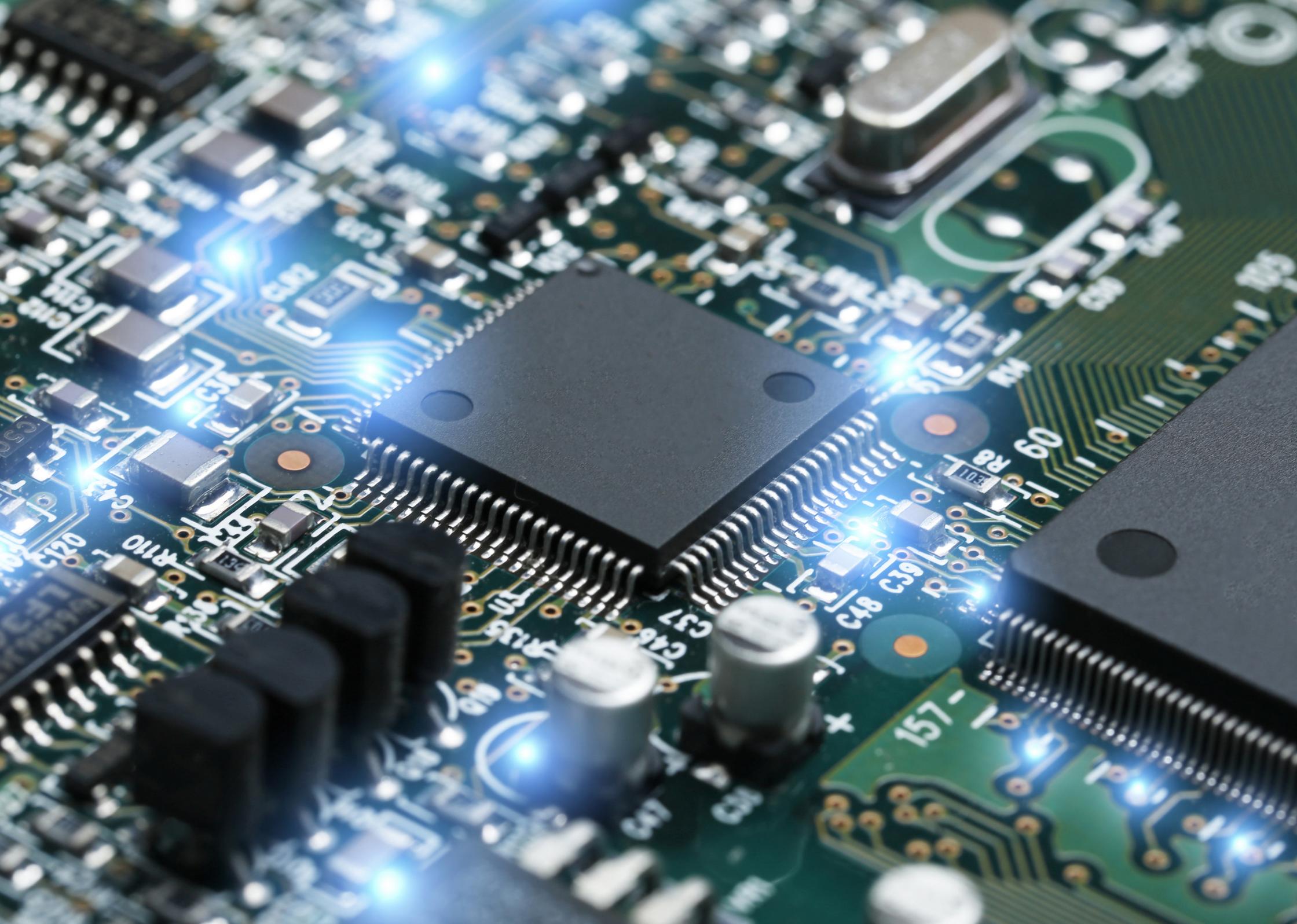
В настоящее время машинное зрение востребовано в медицине, автомобильной промышленности, робототехнике, военной отрасли, биотехнологиях, промышленном производстве. Это связано с тем, что в данных отраслях имеются четко сформулированные задачи решаемые с применением технологии машинного зрения. [9]



# ИСТОРИЯ









CAR



CAR



1

# ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

# ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

## СЕНСОРИКА: ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ

Основная задача технологии сенсорики — предоставление информации цифровым вычислительным системам о состоянии внешней среды и физических параметрах различных объектов. Одна из сквозных технологий, которая, предположительно, будет определять структуру мировой экономики в ближайшие 15-20 лет.

Сенсоры и датчики — это электронные и/или механические устройства способные производить измерения или детектировать изменения состояния объектов, среды или физических величин. Сенсоры способны воспринимать воздействие внешних факторов и преобразовывать их в электрические сигналы для последующей обработки.

С помощью датчиков (сенсоров) возможно регистрировать, обрабатывать и передавать информацию о состоянии различных систем. Это может быть информация о физическом состоянии среды или объекта, химическом составе вещества, форме, плотности, положении, динамике изучаемого объекта и т.д. Принципы действия датчиков базируются на физических, химических или биологических явлениях и свойствах. Понятие «Промышленная сенсорика» подразумевает внедрение различных сенсоров и датчиков, а также устройств управления (микроконтроллеров) в технологические процессы и производственное оборудо-

вание предприятия с целью автоматизации и цифровизации производственных процессов.

**Технология сенсорики объединяет в себе такие базовые технологии как:**

1. радио- и микроэлектроника
2. микромеханика и мехатроника
3. нанотехнологии
4. квантовые технологии
5. технологии вычислительных систем и искусственного интеллекта
6. биотехнологии
7. аддитивные технологии

Назначение сенсоров и датчиков — преобразование внешних физических воздействий в электрический сигнал.

**В основном, сенсоры и датчики состоят из четырех основных элементов:**

1. чувствительный элемент — преобразует и/или генерирует различные физические величины (сигналы), такие как: сопротивление, напряжение, индукция и т.д. под воздействием приложенных к нему внешних факторов и сил;
2. усилитель и мультиплексор сигнала — усиливает и суммирует первичные сигналы чувствительного элемента сенсора;
3. преобразователь сигнала — преобразует полученный сигнал в цифровой или аналоговый вид;
4. узел обработки информации — в качестве узла обыч-

но выступает микроконтроллер, который отвечает за первичную фильтрацию и обработку преобразованного сигнала, а также за настройку и калибровку сенсора;

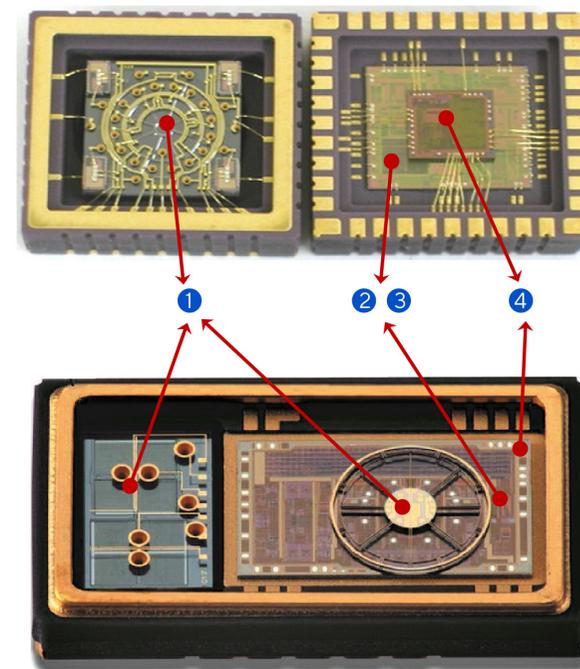


Рисунок 1 — Основные элементы сенсора на примере МЭМС-сборки

**Сенсоры можно разделить на три основные группы:**

1. Сенсоры физических величин — это сенсоры способные с высокой точностью измерять физические и динамические параметры среды и объектов, такие

как: температура, давление, освещенность, вязкость, твердость, плотность, скорость, расстояние, форма, объем, масса, напряжение, сила тока, ионизирующее излучение и т.п.

**2.** Инерциальные сенсоры — это сенсоры, относящиеся к сенсорам физических величин — моментов силы, измеряющие угловую скорость, угол наклона, проекцию кажущегося ускорения, характеристики магнитного поля. К ним относят гироскопы, инклинометры, акселерометры, магнетометры. Данные сенсоры выделены в отдельную группу, так как не имеют прямого контакта с измеряемой средой или объектом измерения и работают исключительно с фундаментальными физическими взаимодействиями.

**3.** Химические и биологические сенсоры — это сенсоры и датчики, позволяющие детектировать и измерять химический состав среды, в которой находится чувствительный элемент сенсора.

## СЕНСОРЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### МАГНИТНЫЕ СЕНСОРЫ

**Существует класс датчиков и сенсоров магнитного поля, в основу которых положены разнообразные физические явления:**

- датчик Холла — эффект Холла заключается в возникновении разности потенциалов между противоположными гранями проводящей пластины при протекании электрического тока через две другие ее грани, при одновременном действии магнитного поля пер-

пендикулярно плоскости пластины. На этом эффекте сконструирован датчик Холла;

- датчик Виганда — работа датчика базируется на эффекте Виганда. Конструкция датчиков Виганда содержит катушку индуктивности и проволоку Виганда. При смене поляризации проволоки, катушка, намотанная на неё, фиксирует это изменение;

- индукционный датчик — преобразует угловые и линейные перемещения в модулированное напряжение. Принцип действия индукционных датчиков и преобразователей основан на изменении коэффициента взаимоиנדукции между подвижным и неподвижным элементами при изменении их относительно положения;

- индуктивный датчик — бесконтактный датчик, предназначен для контроля положения объектов из металла. Датчик к другим материалам не чувствителен. Принцип действия индуктивных датчиков основан на изменении индуктивности (коэффициента самоиндукции) или взаимоиנדуктивности обмотки с сердечником, вследствие изменения магнитного сопротивления магнитной цепи датчика, в которую входит сердечник.



Рисунок 2 — Датчик Виганда

### ТЕМПЕРАТУРНЫЕ СЕНСОРЫ

Измерение температуры заключается в передаче небольшого количества тепловой энергии от объекта к сенсору, который должен преобразовать эту энергию в электрический сигнал. Любой сенсор, независимо от его размеров, вносит возмущение в зону измерения, что приводит к возникновению ошибок при определении температуры.

Это касается любых способов детектирования: радиационных, конвективных и теплопроводных. Таким образом, разработчик должен стремиться минимизировать погрешность измерений, применять соответствующие конструкции сенсоров и методы компенсации погрешностей.

Существует два основных метода измерения температуры: равновесный и прогнозируемый. В равновесном методе измерение температуры проводится, когда

между измеряемой поверхностью и чувствительным элементом, находящимся в зонде, наступает тепловое равновесие, т. е. между сенсором и объектом измерения нет разности температур. В методе прогнозирования в процессе проведения измерений тепловое равновесие не наступает, а значение текущей температуры определяется по скорости изменения температуры сенсора.

**Сенсоры температуры подразделяются на следующие типы:**

- терморезистивные сенсоры;
- термоэлектрические преобразователи (термопары);
- оптические датчики температуры;
- инфракрасные датчики (пирометры);
- акустические датчики температуры. [57]



Рисунок 3 — Сенсор тепловизора с инфракрасной сенсорной матрицей разрешением 320 x 240

### СЕНСОРЫ ДАВЛЕНИЯ

Принцип действия сенсора давления заключается в преобразовании давления, испытываемого чувствительным элементом, в электрический сигнал. В конструкцию преобразователей давления входят сенсоры, обладающие известной площадью поверхности, чья деформация или перемещение, возникающие вследствие действия давления, и определяются в процессе измерений. Таким образом, сенсоры давления реализуются на основе детекторов перемещения или силы, причиной возникновения которой является тоже перемещение.

**Сенсоры давления подразделяются на 5 типов:**

- тензометрические сенсоры (КНС-преобразователи);
- пьезорезистивные сенсоры (на монокристаллическом кремнии);
- емкостные сенсоры;
- резонансные сенсоры;
- оптоэлектронные сенсоры.



Рисунок 4 — Датчик абсолютного давления (MAP-сенсор)

### АКУСТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

Акустические сенсоры разной конструкции используются для работы в разных средах. Например, микрофоны применяются для детектирования волн в воздухе или вибраций в твердых телах, а гидрофоны для работы в жидкой среде. Основное отличие между обычным сенсором давления и акустическим заключается в том, что последнему не приходится измерять постоянное или медленно меняющееся давление. Рабочий частотный диапазон начинается с нескольких герц (иногда с десятков миллигерц), а заканчивается в области нескольких мегагерц для ультразвуковых сенсоров, и даже нескольких гигагерц для устройств, реализованных на поверхностных акустических волнах.

**Акустические сенсоры подразделяются на следующие типы:**

- электростатические микрофоны;

- оптоволоконные микрофоны;
- пьезоэлектрические микрофоны;
- электретные микрофоны;
- твердотельные акустические детекторы.

Акустические волны являются механическими волнами, любой микрофон или гидрофон имеет ту же структуру, что и сенсор давления: в его состав входит диафрагма и преобразователь перемещений, преобразующий отклонение диафрагмы в электрический сигнал. [57]

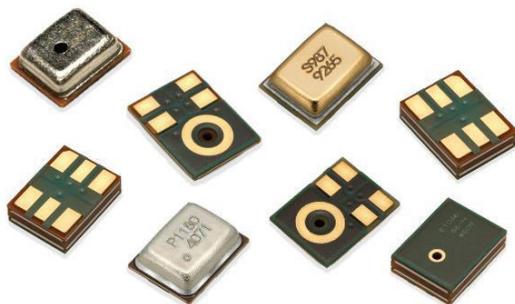


Рисунок 5 — Пьезоэлектрические MEMS-микрофоны

### ДЕТЕКТОРЫ СВЕТОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Детекторы электромагнитных волн, лежащих в спектральном диапазоне от ультрафиолетового до дальнего ИК излучений, называются световыми детекторами. Поглощение фотонов чувствительным материалом приводит либо к повышению его температуры, либо к появлению новых квантовых частиц.

**Поэтому детекторы световых излучений разделяют**

**на две группы:** квантовые и тепловые преобразователи. Квантовые детекторы работают в интервале от УФ до среднего ИК диапазонов, а тепловые сенсоры чаще используются в диапазонах среднего и дальнего ИК излучений, где их эффективность намного превышает эффективность квантовых преобразователей.

**Детекторы световых излучений подразделяются на следующие типы:**

- фоторезисторы;
- фотодиоды;
- фототранзисторы;
- охлаждаемые детекторы;
- детекторы ИК-излучений. [57]



Рисунок 6 — SMD сенсор освещенности (фототранзистор)

### ДЕТЕКТОРЫ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ядерное излучение, испускаемое ядрами атомов некоторых материалов, бывает двух типов: в виде заряженных частиц ( $\alpha$  и протонов) и в виде частиц, не

имеющих заряда, называемых нейтронами. Часть этих частиц сложные, например,  $\alpha$ -частицы, представляющие собой ядра атомов гелия, состоящих из двух нейтронов и двух протонов, другие частицы, такие как  $\beta$ -частицы, устроены гораздо проще ( $\beta$ -частица – это либо электрон, либо позитрон). Рентгеновское и  $\gamma$ -излучения относятся к электромагнитным излучениям ядерного типа. Рентгеновское излучение в зависимости от длины волны делится на жесткое, мягкое и ультрамягкое. Ядерное излучение часто называется ионизирующим. При прохождении элементарных частиц через различные среды, поглощающие их энергию, возникают новые ионы, фотоны или свободные радикалы.

Принцип действия сенсоров радиоактивных излучений определяется способом взаимодействия исследуемых частиц с материалом самого детектора. Существуют три типа детекторов радиоактивных излучений: сцинтилляционные счетчики, газовые (ионизационные камеры, пропорциональные камеры, счетчики Гейгера-Мюллера) и полупроводниковые детекторы.

По принципу действия детекторы разделяют на две группы: детекторы столкновений и дозиметры. Первые определяют наличие радиоактивных частиц, вторые измеряют мощность излучений. Поэтому существует еще одна классификация детекторов радиоактивных излучений: качественные и количественные.

**Детекторы радиоактивных излучений подразделяются на следующие типы:**

- сцинтилляционные детекторы;
  - ионизационные детекторы;
  - полупроводниковые детекторы радиоактивности.
- [57]



Рисунок 7 — Сенсор ионизирующего излучения

## ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СЕНСОРЫ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

Акселерометры — сенсоры кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением).

Ускорение — динамическая характеристика объекта. Принцип действия сенсоров ускорения часто основан на измерении перемещений относительно некоторого эталонного объекта, который обычно входит в состав самого сенсора. Поэтому чувствительный

элемент, реагирующий на перемещение, является составной частью большинства акселерометров.

**Акселерометры подразделяются на следующие типы:**

- емкостные акселерометры;
- пьезорезистивные акселерометры;
- пьезоэлектрические акселерометры;
- тепловые акселерометры.

По конструктивному исполнению акселерометры подразделяются на однокомпонентные, двухкомпонентные, трёхкомпонентные. Соответственно, они позволяют измерять проекции кажущегося ускорения на одну, две и три оси.

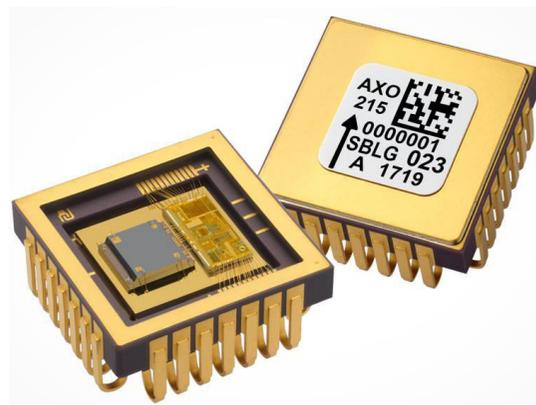


Рисунок 8 — 3-х осевой МЭМС акселерометр

## ГИРОСКОПЫ

Гироскопы или сенсоры угловых скоростей — это устройство определяющее угловую скорость/угол

поворота относительно инерциальной системы отсчёта.

**Существуют следующие типы гироскопов по принципу действия:**

- МЭМС гироскопы — принцип работы гироскопа аналогичен принципу, используемому в МЭМС акселерометрах, когда угловая скорость оценивается относительно эталонной инерционной массы.

В МЭМС гироскопе кремниевое кольцо (инерционная масса) свободно подвешено на изогнутых кремниевых пружинках, которые крепятся к неподвижной центральной части механизма. Когда на управляющие электроды подается напряжение, то под действием электростатических сил кольцо начинает вибрировать, возникает стоячая волна, которую отслеживают считывающие электроды. Если кольцо под действием внешних сил поворачивается, стоячая волна искажается, и сигнал о направлении поворота поступает на считывающие электроды. По величине искажений можно судить о скорости поворота.

По конструктивному исполнению МЭМС-гироскопы также подразделяются на однокомпонентные, двухкомпонентные, трёхкомпонентные. Соответственно, они позволяют измерять угловые скорости по одной, двум или трём осям.

- Оптические гироскопы — используют эффект Саньяка — появление фазового сдвига встречных световых волн во вращающемся кольцевом интерферометре.

- Твердотельные волновые гироскопы — используют эффект расщепления стоячей волны под действием сил Кориолиса, генерируемой на стенке упругого резонатора в виде полусферы, цилиндра или кольца. Принцип их работы основан на использовании инертных свойств упругих волн.
- Квантовые гироскопы (ЯМР гироскопы) — принцип работы квантовых гироскопов основан на эффекте ядерно-магнитного резонанса атомов рабочего вещества (измерение спиновых моментов атомов рабочего вещества).

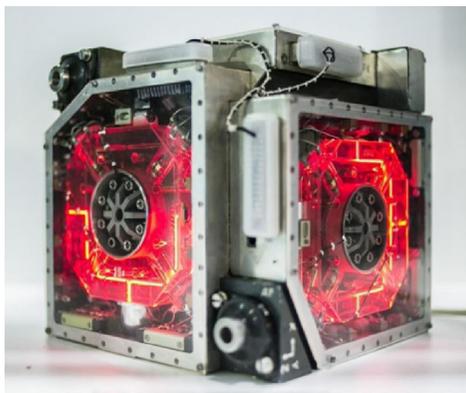


Рисунок 9 — Волоконно-оптический (лазерный) гироскоп



Рисунок 10 — Твердотельный волновой гироскоп

### МАГНЕТОМЕТРЫ

Магнетометры - это устройство способное производить измерения характеристик магнитного поля и магнитных свойств материалов

**Существуют следующие типы магнетометров по принципу действия:**

- Магнитоэлектрические магнетометры — это приборы, основанные на измерении механических моментов, действующих на чувствительный элемент прибора в измеряемом поле.
- Индукционные магнетометры — это приборы, основанные на явлении электромагнитной индукции — возникновении ЭДС в измерительной катушке при изменении проходящего сквозь её контур магнитного потока
- Квантовые магнетометры — это приборы, основан-

ные на свободной прецессии магнитных моментов ядер или электронов во внешнем магнитном поле и других квантовых эффектах (ядерном магнитном резонансе, электронном парамагнитном резонансе).

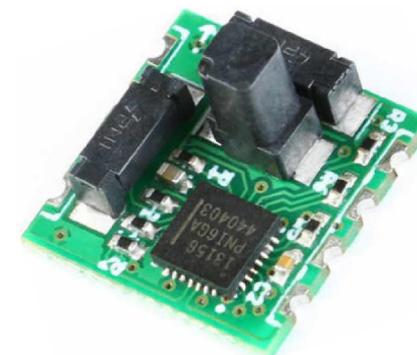


Рисунок 11 — 3-х осевой геомагнитный сенсор индукционного типа с блоком обработки информации

### ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

#### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

Устройства, в которых аналитический сигнал обеспечивается протеканием электрохимического процесса. В электрохимическом датчике определяемый компонент реагирует с чувствительным слоем непосредственно на электроде или в объеме слоя раствора рядом с электродом.

### Различают следующие виды

#### электрохимических датчиков:

- потенциометрические, в которых первичные информационные сигналы возникают в виде изменения электрических потенциалов (а ток через датчик пренебрежимо мал);
- кондуктометрические, в которых первичные информационные сигналы возникают в виде изменения электропроводности электрохимического элемента;
- амперометрические, в которых первичные информационные сигналы возникают в виде изменения электрического тока через электрохимический элемент при заданном значении напряжения;
- вольтамперометрические и хроноамперометрические, в которых информацию получают, измеряя и анализируя вольтамперную характеристику электрохимического элемента и соответственно динамику изменения тока. [55]

#### СПЕКТРОГРАФИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ

Работа оптических химических датчиков основана на принципе поглощения или отражения попадающего на них света (излучения), а также возникающей люминесценции. Эти явления являются результатом взаимодействия анализируемого вещества с рецепторной платформой сенсора.

#### Существуют следующие виды спектрографических сенсоров:

- спектрофотометрические — оптические сенсоры,

в которых информация об исследуемом образце заключена в изменении спектрального распределения интенсивности света;

- люминесцентные — оптические сенсоры, в которых информацию об исследуемом образце получают, наблюдая виды люминесценции, например, флуоресценцию. Флуоресценция заключается в кратковременном поглощении квантов облучения флуорофором (веществом, способным флуоресцировать) с последующей эмиссией излучения на более длинных волнах. [56]

#### БИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ (БИОСЕНСОРЫ)

Биосенсор — это аналитический прибор, в котором для определения химических соединений используются реакции этих соединений, катализируемые ферментами, иммунохимические реакции или реакции, проходящие в органеллах, клетках или тканях.

В биосенсорах биологический компонент сочетается с физико-химическим преобразователем.

#### Чувствительный элемент биосенсора состоит из:

- биоселективного элемента (биомимик) — биологический материал такой как: ткань, микроорганизмы, органеллы, клеточные рецепторы, ферменты, антитела, нуклеиновые кислоты, и т. д. Чувствительный элемент может быть создан с помощью биоинженерии.
- преобразователя — элемент который преобразует сигнал, появляющийся в результате взаимодействия анализируемого вещества (аналита) с биоселектив-

ным элементом и функционирующий на физико-химических принципах (оптический, пьезоэлектрический, электрохимический, и т. д.).

#### Существуют следующие основные типы биосенсоров:

- Оптические биосенсоры — принцип работы таких биосенсоров основан на явлении поверхностного плазмонного резонанса — изменение цвета свечения оптического материала (стекло) в зависимости от состава соприкасаемой жидкости за счет вибрации активных наноразмерных вкраплений золота и серебра.
- Электрохимические биосенсоры — принцип работы таких биосенсоров основан на ферментативном катализе химических реакции, в которой освобождаются или поглощаются электроны.
- Пьезоэлектрические биосенсоры — в таких биосенсорах используются пьезоэлектрические резонаторы. Кристалл резонатора покрыт биологическим распознающим элементом, присоединение большого количества аналита к биологическому рецептору приводит к изменению резонансной частоты, что и служит сигналом сенсора.

## МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ: ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ

Машинное зрение представляет собой трёхуровневую систему, состоящую из:

#### 1. Система сбора видеоинформации

В системе технического зрения информация об изо-

бражении, при помощи оптико-электронных преобразователей и видеосенсоров, представляется в форме электрических сигналов. Полученная таким образом информация обрабатывается иерархически. Сначала изображение обрабатывается видеопроцессорами. Здесь ключевой параметр – контур изображения, который задается координатами множества составляющих его точек.

Оптическая система проецирует изображение на чувствительный элемент, предварительно определяется размер рабочей зоны охватываемой сенсором.

**2.** Система анализа, описания и распознавания – включает в себя высокопроизводительный вычислительный узел и сложное программно-алгоритмическое обеспечение для обработки полученного изображения

**3.** Искусственный интеллект – как правило включает в себя специализированный вычислительный блок и программную нейросеть.

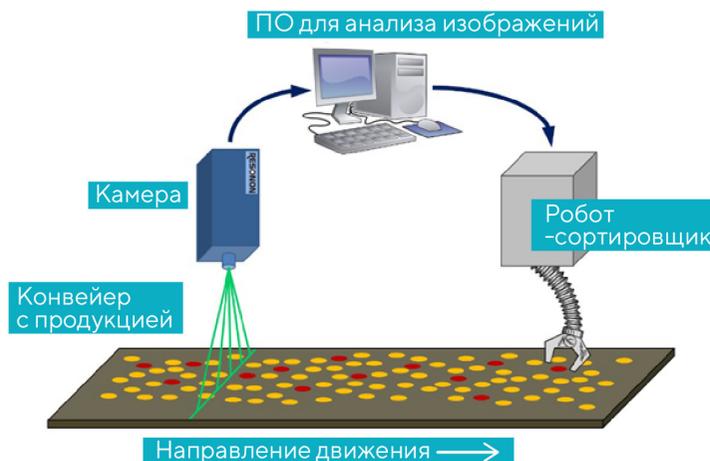


Рисунок 12 – Схема работы системы машинного зрения

**К основным компонентам системы машинного зрения относятся:**

- элементы освещения;
- оптика;
- сенсор захвата оптических данных (камера машинного зрения);
- система обработки оптических данных и вычислительный узел;
- система передачи данных и средства связи. [8]

Компоненты системы машинного зрения обеспечивают автоматизацию промышленных процессов следующим образом. Рабочая зона, где располагаются детали, освещается лампами. Над рабочей зоной располагается наблюдающая видеочкамера, от которой по кабелю или беспроводной связи информация подает-

ся в основной блок системы технического зрения.

Из основного блока информация (в обработанной форме) подается на управляющее устройство системы автоматизации. Система автоматизации в виде робота или актуаторов производит сортировку деталей, их упорядоченную укладку в тару в строгом соответствии с информацией, поступающей от программного обеспечения системы технического зрения.

## КАМЕРЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Камеры машинного зрения (видеосенсоры) передают информацию другим элементам системы технического зрения при помощи особых кабелей (коаксиальных, оптоволоконных, витая пара и т.д.), обеспечивающих высокую частоту и минимальные потери передачи данных.

Видеосенсорами могут выступать различные оптоэлектронные устройства, от твердотельных преобразователей до телевизионных камер на основе вакуумной трубки типа видикон.

**Сами видеосенсоры могут иметь точечные, одномерные, двумерные или трехмерные чувствительные элементы. Они делятся на два класса по типу сенсора:**

- камеры линейного сканирования – точечные и одномерные видеосенсоры;
- камеры сканирования области – 2D и 3D видеосенсоры.

### ТОЧЕЧНЫЕ СЕНСОРЫ

Точечные чувствительные элементы способны принимать видимое излучение с малых частей объекта — точек будущего изображения, и для получения полного растрового изображения необходимо произвести сканирование по плоскости объекта. Для такого сканирования применяются МЭМС-матрицы зеркал, позволяющие с большой скоростью сканировать участки объекта единственным источником света, например, лазером. Такие системы в основном используются для сканирования QR и штрих-кодов, а также в LIDAR-системах.

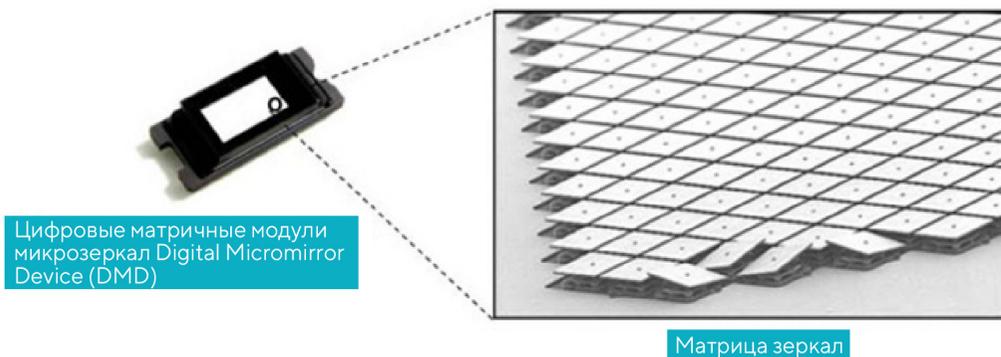


Рисунок 13 — Сканирующая МЭМС-матрица

### ОДНОМЕРНЫЕ СЕНСОРЫ

Одномерные чувствительные элементы более сложны, они состоят из линейки точечных элементов - строк, которые в процессе сканирования движутся вдоль объекта. Двумерные элементы представляют собой по сути матрицу дискретных точечных элементов. Ширина строк таких видеосенсоров составляет от 1024 до 4096 логических пикселей, а ее высота может составлять от 1 до 4 пикселей. Скорость считывания строк может достигать 80 000 строк в секунду.

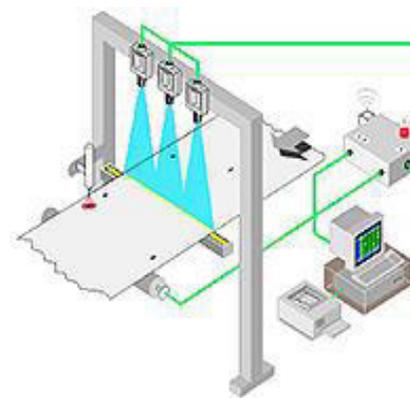


Рисунок 14 — Одномерная оптическая система

### ДВУМЕРНЫЕ СЕНСОРЫ

Двумерные видеосенсоры представляют собой привычные видеокамеры, которые передают плоское изображение по кадрам.

### ТРЕХМЕРНЫЕ СЕНСОРЫ

Трехмерные видеосенсоры это совокупность видеосенсоров и сенсоров построения карт глубины сцены (инфракрасные, лазерные и т.д.), позволяющие определять точное расстояние до объекта, его положение, а также создавать трехмерные модели сканируемых объектов с микронной точностью.

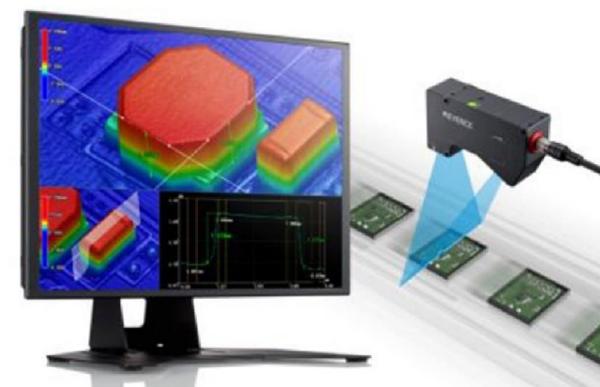
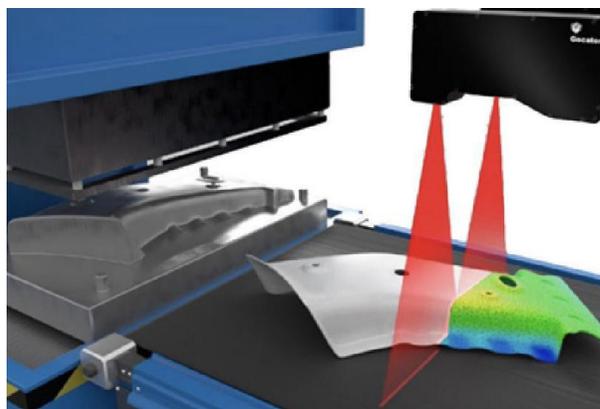


Рисунок 15 – Система трёхмерного сканирования поточных изделий

**В системах машинного зрения также используются и другие типы видеокамер:**

**1.** Тепловизоры (камеры, чувствительные к ИК-спектру) используются как в охранных системах, так и на

производстве для контроля температурных параметров.

**2.** Камеры специального назначения (группа камер с отличительными особенностями: например, высокая скорость съемки).

**3.** Камеры видеонаблюдения (камеры, кодирующие видео при передаче по сети).

Современные видеосенсоры позволяют воспринимать сцены и образы целиком, а это значит, что, например, промышленные роботы смогут автономно формировать целенаправленные действия в пространстве рабочей зоны без дополнительных внешних сигналов и воздействий.

**К таким видеосенсорам относятся:  
СТЕРЕОЗРЕНИЕ**

Стереозрение – один из методов извлечения информации о глубине сцены при помощи изображений с двух камер (стереопары). В основе метода лежит принцип человеческого зрения, когда мозг человека получает информацию об объёме по картинке от двух глаз. Точно так же разница в расположении пикселей в изображении с двух камер даёт информацию о глубине.



Изображение с левой камеры



Изображение с правой камеры



Изображение о глубине сцены

Рисунок 16 – Стереозрение

При помощи регулировки расстояния между камерами стереопары можно регулировать требуемую глубину распознавания сцены.

### СФЕРИЧЕСКИЕ И ПАНОРАМНЫЕ СИСТЕМЫ

Сферические (панорамные) системы позволяют сканировать область сферической полусферы с углом обзора более 180 градусов. Данная система позволяет определять наличие посторонних объектов (людей) в зоне действия автоматических механизмов (роботов)

### МНОГОКАМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ (МАССИВЫ)

Массивы (сети) камер используются для отслеживания перемещения отдельных людей внутри помещений или в местах с ограниченной видимостью (склады в морских портах, заводские территории и пр.), а также для управления дорожным движением в интеллектуальных транспортных системах (ИТС).

### ЭЛЕМЕНТЫ ОСВЕЩЕНИЯ

**Компонент, без которого не обходится ни одна система машинного зрения — это специализированная подсветка. Необходимость её использования обоснована многими факторами, такими как:**

- слабый уровень общего освещения на предприятии;
- низкая частота мерцания общего освещения (50 Гц);
- невозможность корректировки угла падения лучей;
- невозможность управлять интенсивностью освещенности;

щенности;

- общая освещенность может меняться на протяжении дня.

**Можно классифицировать промышленное освещение по следующим характеристикам:**

- спектр света, излучаемый подсветкой;
- угол направленности светового потока и конструктивные особенности устройства подсветки. [9]

Освещение подсвечивает осматриваемую деталь, выделяя ее элементы так, чтобы они были четко видны для камеры. Объектив захватывает изображение и передает его на датчик в виде светового сигнала. Датчик камеры машинного зрения преобразует световой сигнал в цифровое изображение, которое затем отправляется в систему обработки оптических данных и вычислительный узел для дальнейшей обработки и анализа.

### СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ УЗЕЛ

Система обработки оптических данных и вычислительный узел основана на алгоритмах анализа изображения и извлечения необходимой информации.

Аппаратная часть систем машинного зрения обработки оптических данных включает в себя:

1. Процессорную часть (CPU) и оперативная память (RAM) — отвечает за общесистемное функционирование операционной системы, специализированного программного обеспечения и обеспечение функцио-

нирование периферии и интерфейсов передачи данных.

**2.** Узел обработки графических данных (GPU) — захватывает и обрабатывает первичную графическую информацию, полученную от видеосенсоров и других чувствительных элементов системы (лидары, инфракрасные сенсоры глубины сцены и т.д.)

**3.** Узел функционирования нейронной сети (ИИ) — обеспечивает функционирование искусственного интеллекта, обычно включает в себя специальный нейронный процессор (NPU) или многоядерный графический (тензорный) процессор (CUDA).

**4.** Энергонезависимые хранилища данных (ROM) — предназначены для хранения видеoinформации для последующей обработки, а также машинного кода программного обеспечения. Обычное такое хранилище состоит из двух частей: высокоскоростные твердотельные накопители, для хранения оперативной информации (видеопотока, данных других сенсоров) и дисковых накопителей для хранения информации не требующей высокой скорости чтения и записи.

**Со стороны программного обеспечения система функционирует следующим образом.**

Изображение, полученное с камеры, попадает в захватчик кадров и далее в память компьютера. Захватчик кадров — устройство, которое преобразует выходные данные с камеры в цифровой формат (обычно это двумерный массива чисел) и размещает изображения

в памяти компьютера, так чтобы оно могло быть обработано с помощью ПО для машинного зрения.

**Системе требуется несколько шагов для обработки изображений:**

1. обработка изображения с целью уменьшения шума или конвертации оттенков серого в простое сочетание черного и белого (бинаризация).
2. считывание информации и ее первичный анализ
3. верификация объектов — распознавание образов и захват области анализа
4. проведение измерений объектов и/или их верификация — определение размеров, выявление дефектов и других характеристик объекта анализа.
5. Выдача управляющего сигнала или предоставление информации системе оператора.

## ОПТИКА

Оптическая система представляет собой многолинзовый объектив с настраиваемой диафрагмой, чтобы производить регулировку количества поступающего света и фокусировку четкости, когда расстояние от объектива до объекта динамически меняется. Объектив, преломляя лучи света, проходящего через его линзы, формирует на поверхности чувствительного элемента видеосенсора четкое изображение объекта сканирования.

**По типу фокусного расстояния оптика делится на два вида:**

- монофокальные;

- вариофокальные.

В промышленных условиях желательно применять монофокальные объективы, так как вариофокальные объективы имеют свойство терять предустановленные настройки фокуса из-за вибрации конвейера. Тем не менее, вариофокальные объективы незаменимы в охранных системах, системах распознавания автомобильных номеров и в лабораторных стендах, то есть там, где необходимое фокусное расстояние заранее неизвестно.

## СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И СРЕДСТВА СВЯЗИ

Для того, чтобы все компоненты системы работали согласованно, существуют несколько вариантов их коммуникации. Самый простой из них — интеграция и взаимодействие на уровне управляющих сигналов или триггеров.

**Этот способ управления применим во многих простых системах, где присутствуют следующие задачи:**

- управление пуском камеры и синхронизация с конвейером;
- управление подсветкой машинного зрения и ее синхронизация с камерой;
- управление внешним исполнительным механизмом (отбраковщиком либо кнопкой «стоп»).

Более сложная система коммуникации устройств базируется на базе стека протоколов TCP/IP. С помощью промышленных протоколов верхнего уровня появля-

ются возможности управлять одновременно группой устройств: камерами, программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), мониторами операторов и другими компонентами системы. [9]

**Часто в системах машинного зрения используют дополнительные устройства. В первую очередь это датчики:**

- датчики движения,
- инфракрасные датчики,
- лазерные сканеры;
- фотоэлектрические датчики и т. д.

Они позволяют получать больше информации об объекте анализа. [4]

**Машинное зрение решает различные задачи:**

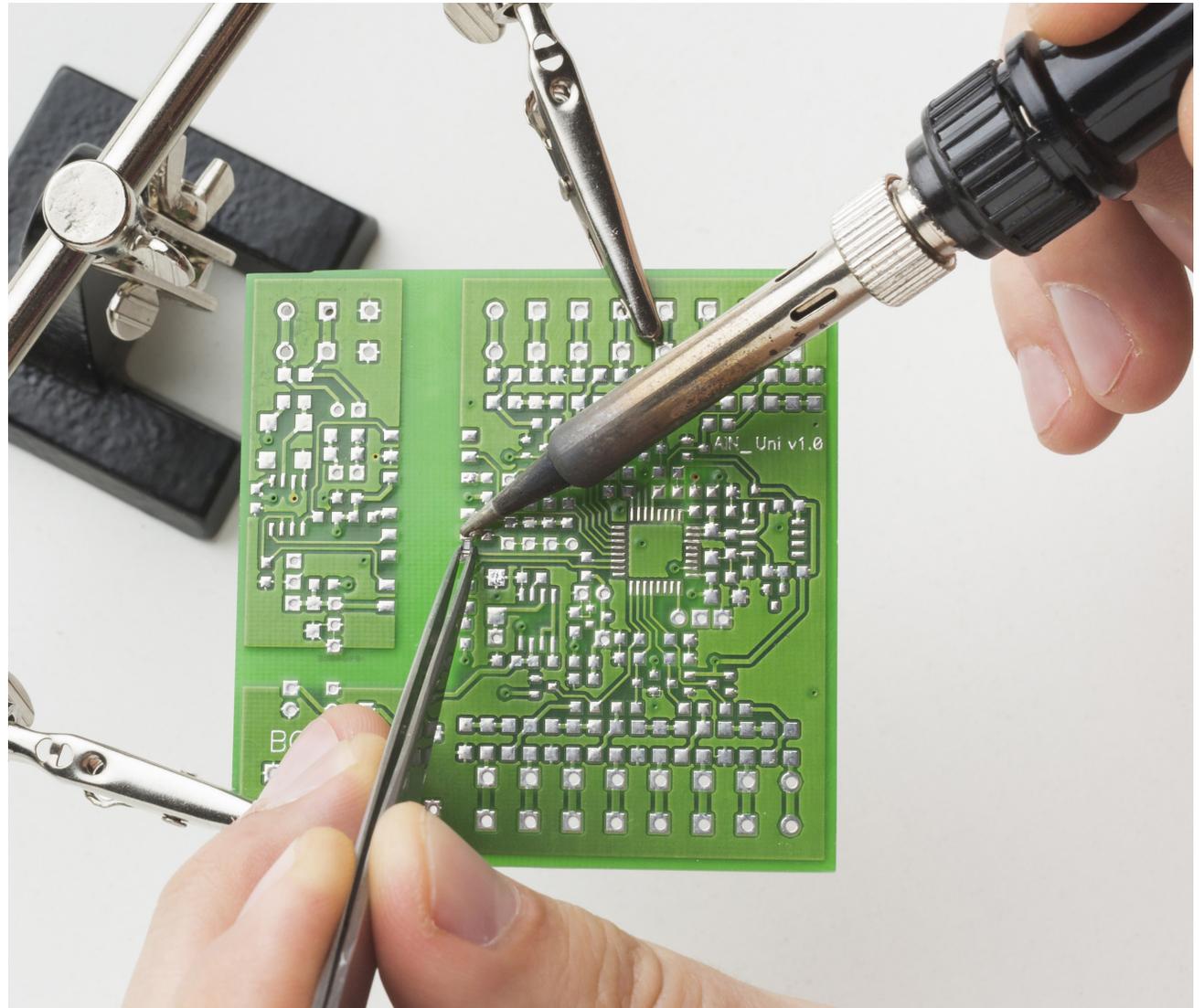
1. Распознавание положения — определение пространственного местоположения (местоположения объекта относительно внешней системы координат) или статического положения объекта (в каком положении находится объект относительно системы координат с началом отсчета в пределах самого объекта) и передача информации о положении и ориентации объекта в систему управления или контроллер.
2. Измерение — измерении физических параметров объекта. Примером физических параметров является: линейный размер, диаметр, кривизна, площадь, высота и количество.
3. Идентификация — считывание кодов (штрих-кодов, 2D-кодов и др.), определение различных буквенно-цифровых обозначений, распознавание лиц с по-

следующим поиском совпадений по существующей базе данных.[14]

**4.** Верификация — подтверждение средствами машинного зрения соответствия конечного продукта predetermined эталонным требованиям. Например, наличие или отсутствие этикетки на бутылке, болтов для проведения операции сборки, шоколадных конфет в коробке или наличие дефектов.

**5.** Распознавание образов — поиск и выделение определенного объекта на кадрах видеопотока, например, лиц, автомобильных номеров, деталей и т.д.

**6.** 3D-моделирование и сканирование — создание трехмерной цифровой модели сканируемого объекта методами лазерного сканирования, триангуляции изображений и т.д.





98.7%

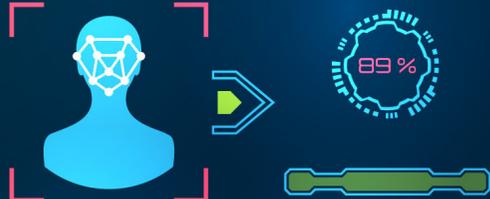


43.2 m

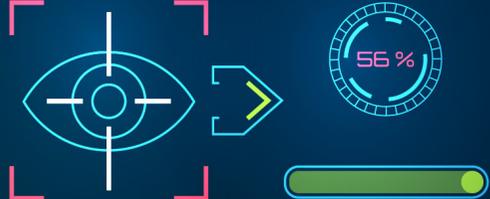


# ИДЕНТИФИКАЦИЯ

## СКАНИРОВАНИЕ ЛИЦА



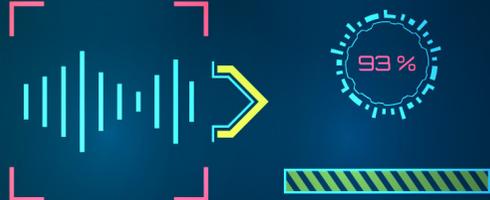
## СКАНИРОВАНИЕ ГЛАЗ



## СКАНИРОВАНИЕ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ



## ГОЛОСОВОЕ СКАНИРОВАНИЕ

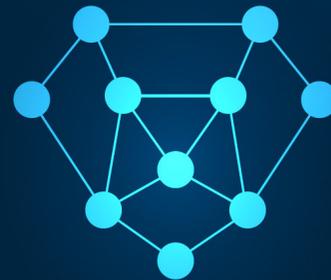


## БЛОКИРОВКА

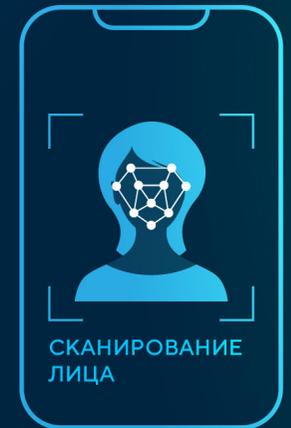
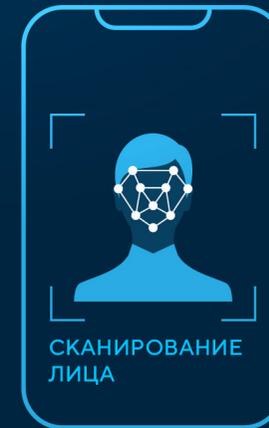
### ПРОВЕРКА

Сканирование лица 3542\_32\_4568  
Сканирование глаз 2458\_78922\_245897  
Сканирование отпечатков пальцев 2357\_8246\_56898  
Голосовое сканирование 7665\_32\_4328

Идентификация 100%  
Код безопасности 78\*\*\*\*\*58



## РАСПОЗНАВАНИЕ ЛИЦ





# 2 СОСТАВ ТЕХНОЛОГИИ

И КЛАССИФИКАЦИЯ

# СОСТАВ (СТРУКТУРА) ТЕХНОЛОГИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Сенсорика является комплексной технологией, включающей в себя не только методы и способы измерения физических величин, но и методы обработки сенсорной информации. Это означает, что современное понятие сенсорики относится к цифровым и радиоэлектронным технологиям. Современный сенсор – это электронный прибор, предоставляющий цифровым системам информацию об окружающей среде и ее динамике, другими словами позволяет обрести «чувствительность» различным вычислительным системам.

## КЛАССИФИКАЦИЯ СЕНСОРОВ

Сенсоры имеют множественную классификацию по различным параметрам от методов проводимого измерения до технологий изготовления таких сенсоров. Примерный перечень классификации приведен в списке ниже:

### 1. По методу измерения:

- Тензометрический метод
- Пьезорезистивный метод
- Емкостный метод
- Резонансный метод
- Индуктивный метод
- Ионизационный метод
- Пьезоэлектрический метод
- Потенциометрический метод
- Магнитоэлектрический метод
- Оптический метод

### 2. По виду чувствительного элемента:

- Химические сенсоры – чувствительный элемент реагирует на химический состав вещества.
- Физические сенсоры – чувствительный элемент реагирует на изменение физических величин (гравитация, температура, давление, свет, момент инерции, масса и т.д.).
- Биологические сенсоры – чувствительный элемент биологического происхождения (ДНК, микроорганизмы, клетки, ткани, и т.д.) реагирует на состав органического вещества.

### 3. По виду формирования сигнала

- Активные – требующие питания для формирования сигнала

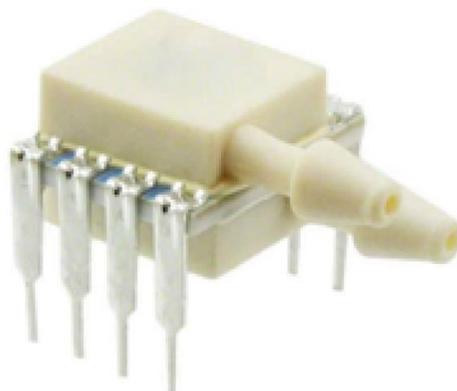


Рисунок 17 – Цифровой датчик дифференциального давления

- Пассивные – не требующие питания для формирования сигнала

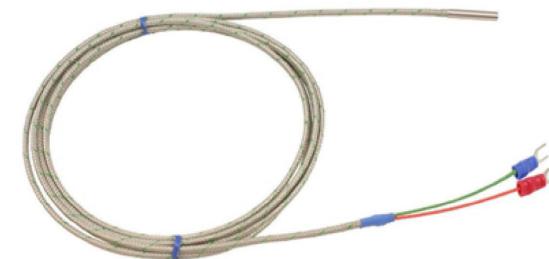


Рисунок 18 – Термопара

### 4. По динамическому характеру сигналов преобразования

- Дискретные – дискретное представление в виде импульсной последовательности измерений
- Непрерывные – в виде непрерывного процесса предоставления измерений

### 5. По виду измерительных сигналов

- Аналоговые – сигнал предоставляется в виде интервала напряжений
- Цифровые – сигнал предоставляется в битной последовательности

### 6. По выбору точки отсчета

- Абсолютные – измерение производится относительно нулевого значения параметра
- Относительные – измерение производится относительно текущего (базового или калибровочного) значения параметра

### 7. По среде передачи сигналов

- Проводные – передача сигнала осуществляется по проводам

- Беспроводные — передача сигнала осуществляется по радиоканалу

**8.** По количеству измерений входных величин

- Одномерные — измерение физической величины в одном пространственном измерении, например, простой акселерометр, датчик холла, терморезистор и т.п.

- Многомерные — измерение физической величины в двух и более пространственных измерениях, например, 3-х осевой гироскоп

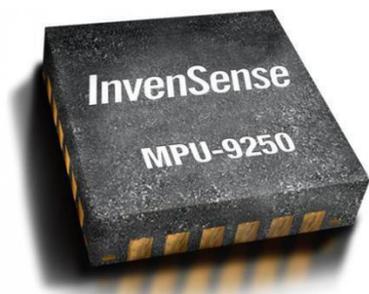
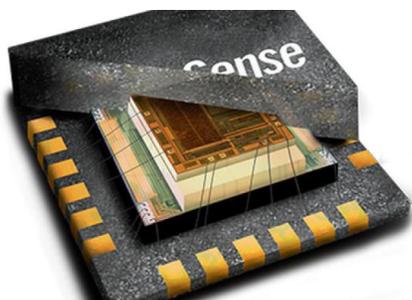


Рисунок 19 — 9-ти осевой МЭМС-сенсор пространственного положения

**9.** По количеству измерительных функций

- Однофункциональные — измерение одного параметра среды или физической величины, например, цифровой барометр производит измерение атмосферного давления.

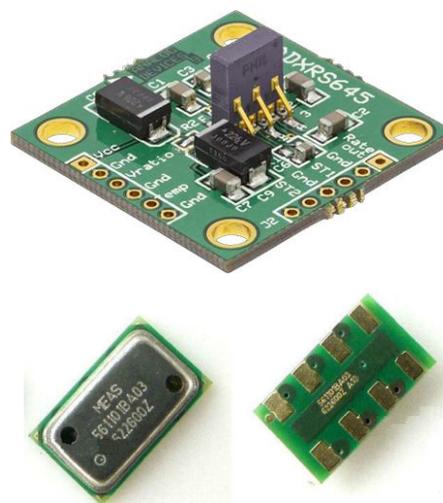


Рисунок 20 — Цифровой одноосевой акселерометр (слева), цифровой барометр (справа)

- Многофункциональные — или совмещенные сенсоры, например, 9-ти осевой сенсор пространственного положения, включающий в себя 3-х осевой гироскоп, 3-х осевой акселерометр, 3-х осевой магнетометр

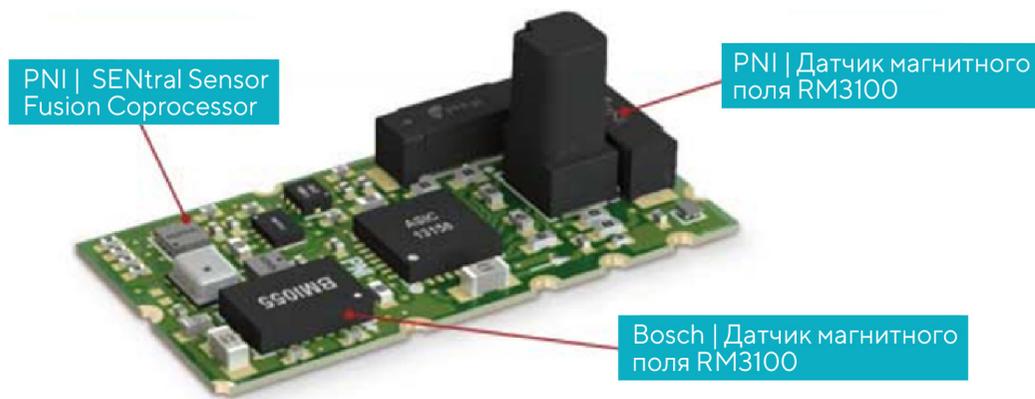


Рисунок 21 – 9-ти осевая инерциальная система совмещающая гироскоп, акселерометр и магнетометр

**10.** По технологии изготовления

- Элементные
- Интегральные

Современные промышленные сенсорные системы обладают целым набором разнообразных чувствительных элементов, таких как сенсоры машинного зрения, системы пространственного положения, тактильные, силомоментные и другие типы сенсоров. Основное требование, которое предъявляется к этим системам, является то, что обработка информации должна осуществляться в реальном масштабе времени, для этого применяются операционные системы реального времени. Промышленные сенсорные системы позволяют выполнять технологические, производственные и другие операции, используя обратную связь, аналогичную той, которой обладает человек – осязание, зрение, слух, пространственное положение предметов и собственного тела и т.д.

**КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

Современные системы машинного зрения подразделяют по трем основным признакам:

1. по сложности решаемых задач – мощные, средние, малые и персональные;
2. по структуре вычислительного процесса – однопроцессорные, многопроцессорные, системы на базе матричного процессора, системы поточной обработки;
3. по типу первичного преобразователя – одномерные 1D, двумерные 2D, подвижные двумерные K2D и трехмерные 3D.

В настоящее время в зависимости от технической задачи и типа датчиков наибольшее распространение получили 5 вариантов архитектуры систем машинного зрения.

| № варианта | Тип изображения |          | Тип вычислительной структуры |                           |                        | Тип датчика |             |
|------------|-----------------|----------|------------------------------|---------------------------|------------------------|-------------|-------------|
|            | Плоское         | Объемное | Последовательная             | Параллельная <sup>1</sup> | Смешанная <sup>2</sup> | Цветной     | Черно-белый |
| 1          | +               | -        | +                            | -                         | -                      | -           | +           |
| 2          | +               | +        | -                            | М                         | -                      | +           | +           |
| 3          | +               | -        | -                            | -                         | МК                     | -           | +           |
| 4          | +               | +        | -                            | К                         | -                      | -           | +           |
| 5          | +               | +        | -                            | Т                         | -                      | +           | +           |

Таблица 2 – 5 вариантов архитектуры систем машинного зрения

По типу методов распознавания изображения системы машинного зрения подразделяют на:

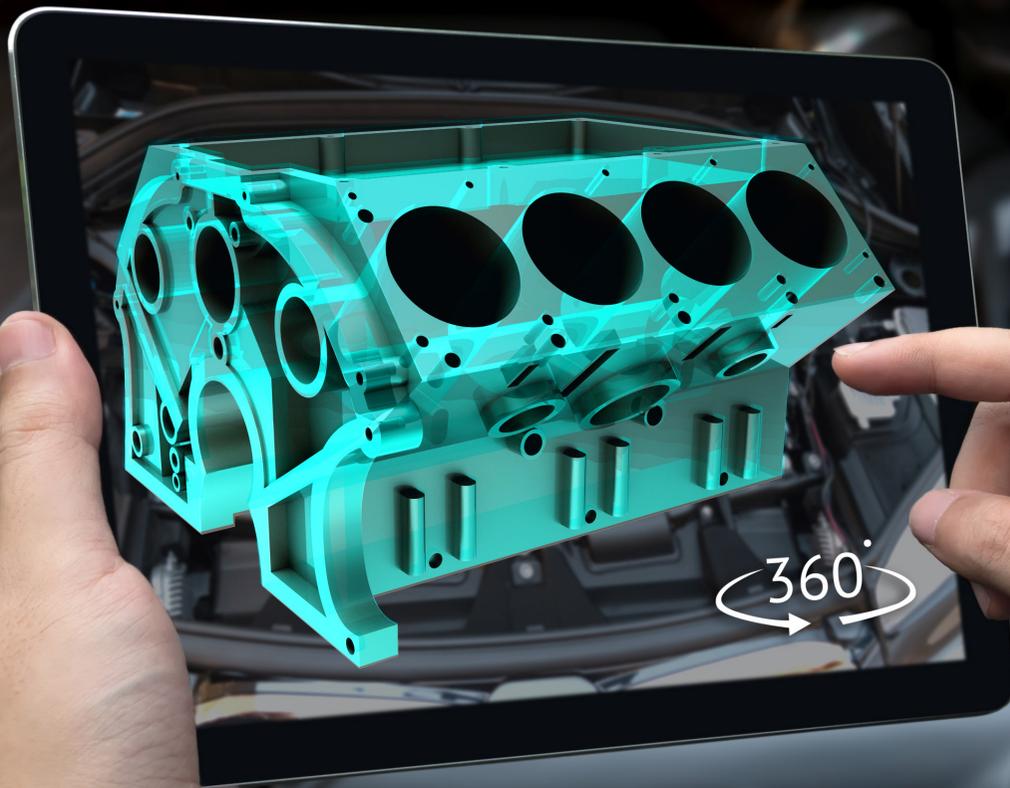
- низкоуровневые;
- признаковые;
- контурные;
- структурные.

По типу критерия качества распознавания изображения системы машинного зрения подразделяют на:

- эвристический;
- байесовский;
- энтропийный;
- теоретико-информационный.







3

# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

ТЕХНОЛОГИИ

# ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕХНОЛОГИИ

## ТЕХНОЛОГИИ СЕНСОРИКИ:

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИЙ:

- небольшие габаритные размеры;
- низкая стоимость для массовых решений;
- высокие разрешение и точность, чувствительность, скорость считывания и обработки информации недоступные биологическим системам
- низкое потребление энергии (до 60 мВт);
- возможность обеспечения высокой степени защиты от агрессивных сред, высокого и низкого предела рабочих температур, давления и перегрузок при необходимости;
- высокая чувствительность и стабильность характеристик измерений в любых условиях;
- простая конструкция и отсутствие подвижных механических рабочих элементов (за исключением MEMS-сенсоров) обеспечивает долговечность;

### НЕДОСТАТКИ ТЕХНОЛОГИЙ:

- высокая стоимость специализированных сенсоров;
- сложная технология производства и формирования чувствительных слоев, требующих затрат времени и не обеспечивающих высокой воспроизводимости свойств материала в серии;
- невысокая стабильность биосенсоров, трудность получения биоорганических материалов постоянного состава, чувствительность к действию высоких и низких температур, бактерицидных загрязнений;

- нелинейность выходных сигналов в зависимости от динамики измеряемого объекта или среды;
- потеря точности измерения и длительное время отклика при защите чувствительного элемента сенсора от агрессивных сред;
- необходимость встраивания микропроцессорной части в цифровые и аналоговые сенсоры для первичной настройки, калибровки, компенсации температурного дрейфа и обработки сигналов;
- подключение дополнительного питания для активных сенсоров;
- необходимость контакта чувствительного элемента с измеряемым объектом или средой;

## ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ:

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИЙ:

- абсолютная точность системы, ни одна деталь не пропадает из поля зрения — компьютер не отвлекается, ничего не упускает и ему не требуется отдых;
- концентрация на бесконечном количестве предметов, в то время как человек может одновременно воспринимать до семи предметов; [5]
- снижение затрат за счет исключения человеческого фактора и ручного труда;
- сокращение времени на контроль качества или сортировку и упаковку в массовом производстве;
- сбор данных с использованием систем компьютерного зрения позволяют автоматически корректиро-

вать технологические процессы;

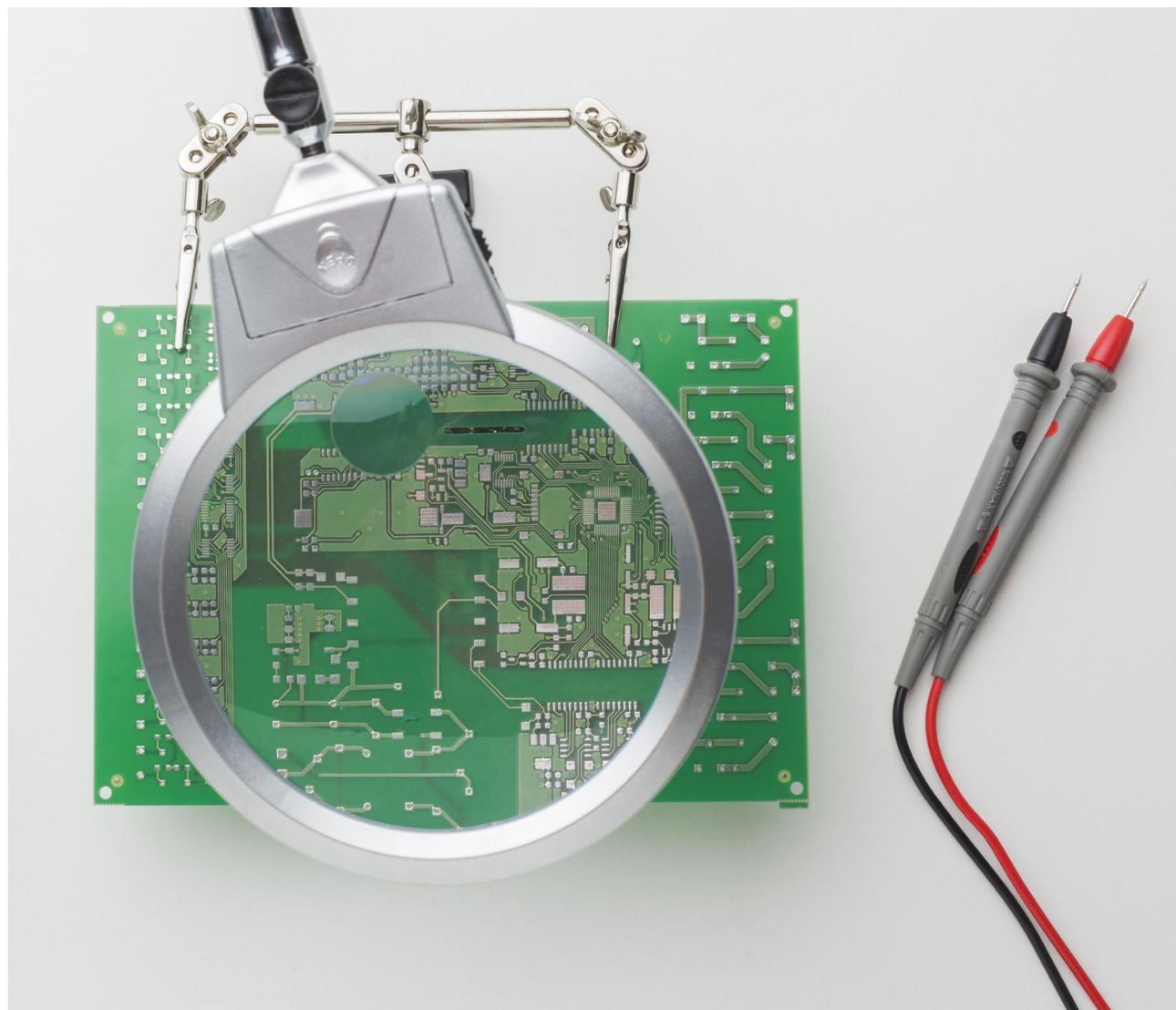
- снижение непродуктивных затрат, например, за счет контроля точности фасовки жидких и сыпучих продуктов в таре;
- повышение безопасности — выведение операторов из зон с вредной средой и замена их системами машинного зрения; [7]
- предоставление более полной информации и более строгий контроль технологического процесса — возможность получать обратную связь в виде компьютерных данных о задачах, выполняемых вручную;
- контроль материальных запасов — оптическое распознавание и идентификация маркировок и образов;
- сокращение производственных площадей за счет замены рабочих мест операторов на сенсоры машинного зрения;

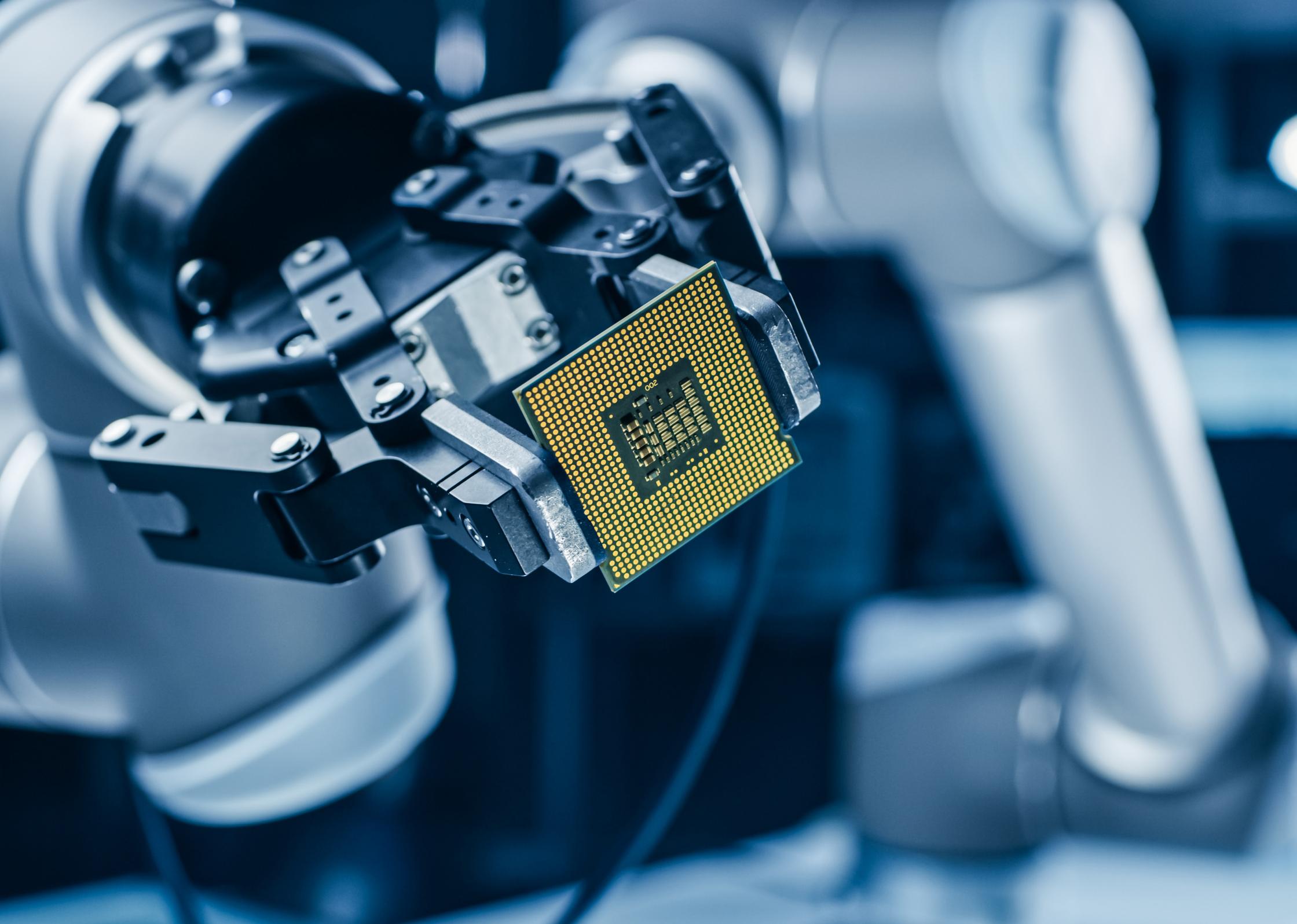
### НЕДОСТАТКИ ТЕХНОЛОГИЙ:

- для автоматизации производственных процессов, обеспечения высокого уровня безопасности и минимизации влияния человеческого фактора одного машинного зрения недостаточно. Для этого применяют ряд технологий:
- машинное зрение;
- машинное обучение;
- длительное и сложное обучение системы на алгоритмах глубокого обучения (deep learning). [5]
- системы машинного зрения могут надежно работать только

с высококачественной унифицированной продукцией;

- при увеличении количества исключений, таких как: изменения цвета и текстуры, изменения освещения и фона, искажения перспективы и изменения поля зрения, алгоритмы усложняются;
- различия или аномалии могут быть или не быть дефектом продукта, в зависимости от того, как пользователь их понимает и классифицирует. Эти отклонения трудно различать с помощью традиционных систем машинного зрения.
- увеличение капитальных затрат на оборудование;







# 4 | ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ | ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ

# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ

## ТЕХНОЛОГИИ СЕНСОРИКИ

Основной тренд рынка сенсорики, как одного из направлений современной отрасли микроэлектроники – увеличение точности, скорости и стабильности измерений, при условии сокращения размеров и энергопотребления. Это связано с особенностью отрасли микроэлектроники, данный тренд существует уже более 30 лет и будет актуален еще ближайшие 20 лет.

### Среди отраслевых трендов и направлений развития технологии сенсорики можно отметить:

**1.** Квантовая сенсорики – это тип сенсоров с наноразмерными или чувствительными элементами квантового мира (кванты света, атомы вещества). Данные сенсоры используют эффекты и явления квантовой физики. Данные сенсоры имеют качественно лучшие характеристики точности, скорости, чувствительности и т.д. Сенсоры – одно из самых перспективных направлений рынка квантовых технологий. Квантовые датчики позволят сверхточно измерять различные физические величины – время, расстояние, скорость и т.д.

В России в рамках национального проекта «Цифровая экономика» разработана и утверждена программа «Цифровые технологии» куда вошли в том числе квантовые технологии сенсорики. За реализацию направления квантовая сенсорики отвечает «Ростех». Однако из-за сложной экономической ситуации в сентябре 2020 года было принято решение о секвестировании

бюджета квантовых сенсоров с 24 до 7 млрд рублей. Такое решение приведет к тому, что средств бюджета хватит только на проведение научно-исследовательских работ. О создании промышленных образцов и тем более наладке производства по выпуску квантовых сенсоров в рамках секвестированного бюджета, говорить не приходится.

**2.** Миниатюризация сенсоров – представляет собой непрерывный процесс, который опирается главным образом на достижения микроэлектроники, в том числе на использование интегральной технологии. Микроминиатюризация позволяет снизить энергопотребление, повысить быстродействие, упростить конструкцию и расширить функциональные возможности как отдельных электронных приборов, так и сконструированных на их основе устройств. Основная цель миниатюризации – это применение технологий сенсорики в мобильных приложениях в различных гражданских и военных областях. Ярким примером тренда стало создание высокоточного наноразмерного волоконно-оптического гироскопа (Nanophotonic optical gyroscope) с размерами сопоставимыми с размером зерна риса. Для понимания, самыми совершенными волоконно-оптическими гироскопами до недавнего времени считались приборы объемом более 1 литра и весом в несколько килограмм.

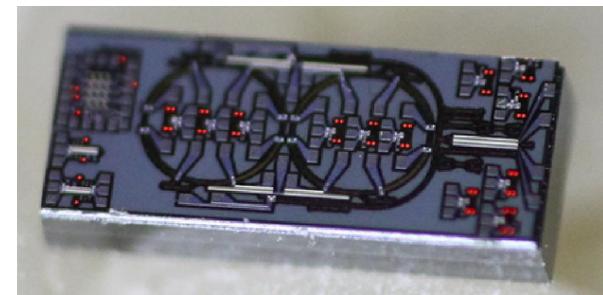


Рисунок 22 – Внешний вид нанофотонного оптического гироскопа

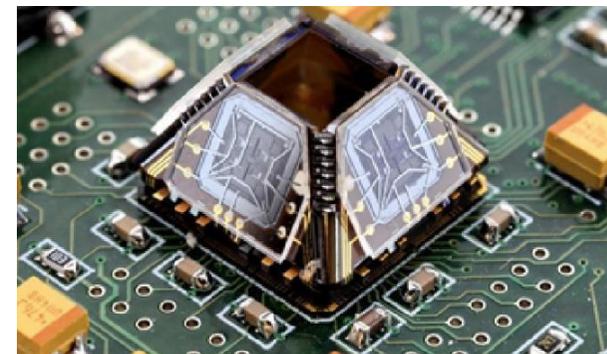
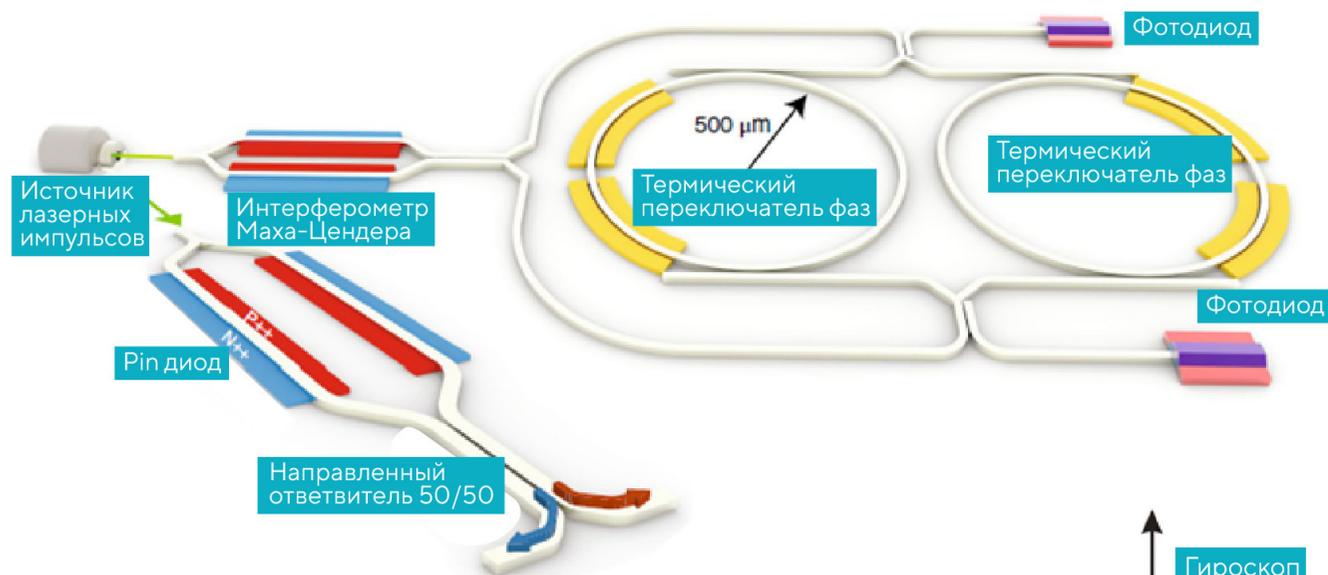


Рисунок 23 – Принципиальная схема нанофотонного оптического гироскопа

3. Трехмерная кремниевая технология (3D-сборки) или 3D-интеграция кристаллов – это совмещение различных полупроводниковых приборов в единый блок-кристалл. Технология реализуется путем сборки кристаллов интегральных схем в трехмерные структуры (обычно в форме параллелепипеда), с интегрированными в структуру кристалла вертикальными и горизонтальными каналами передачи данных. Такие сборки могут совмещать в себе одновременно источники вторичного питания, процессор, оперативную и постоянную память, МЭМС-сенсоры и другие приборы и периферийные мироустройства. То есть, все что ранее располагалось в виде отдельных электронных компонентов на печатной плате, теперь может быть реализовано в виде единого микрочипа. Основное достоинство 3D-сборки кристаллов – уменьшение размеров изготавливаемого устройства, повышение скорости передачи данных между отдельными блоками системы и соответственно снижение энергоемкости приборов.

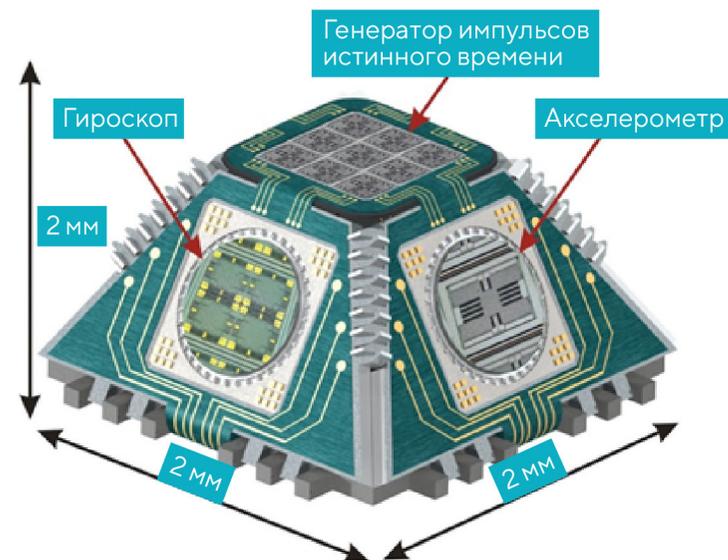


Рисунок 24 – 3D-сборка типа корпус на корпусе (Package-on-package, PoP) МЭМС-сенсоров в рамках программы исследований DARPA

4. Применение технологий на новых физических принципах — современные сенсоры достигли уровня развития технологии, которые позволили реализовать ранее теоретические исследования, к ним относятся:

- Определение направления спинов частиц методом магнитно-ядерного резонанса
- Отслеживание угловой скорости основанного на явлении распространения стоячих волн в твердых, не эластичных телах
- Определение расстояний, скорости, объемов объектов с применением фотонных и лазерных технологий

5. Применение новых материалов — среди последних трендов можно отметить массовое внедрение в микроэлектронике и сенсорике нитрида галлия (GaN)—это усовершенствованный полупроводниковый материал, который обеспечивает широкую полосу частот, высокую эффективность и высокую мощность передачи данных при малой занимаемой площади.

6. Совмещенные сенсоры (умные сенсоры) — сенсор предназначен для регистрации изменения определенной физической величины и преобразования полученных данных в цифровой или аналоговый сигнал для отправки на внешний микроконтроллер. Вся «умная» часть сенсоров находится именно в микроконтроллере, отвечающим за обработку переданных ими данных. Объединение микроконтроллера и датчика в единый модуль позволило создать так называемый умный (smart) датчик, который, благодаря современным технологиям производства, может иметь доста-

точно небольшие размеры. Технология реализуется в формате системы на кристалле (SoC)

7. Гибкая электроника и сенсорика — одно из направлений разработок в рамках создания искусственной кожи. Она чувствительна к прикосновениям, текстуре и даже звуку. Это актуально для носимых устройств, наклеиваемых на кожу человека либо встраиваемых в одежду и любые технические устройства. Гибкие сенсоры и электронная кожа (eSkin) могут использоваться:

- для получения обратной связи и контроля усилий и силы захвата роботизированными системами
- для роботизированных протезов с целью передачи тактильной информации в мозг человека
- для реализации концепции тактильного интернета — передача тактильных данных

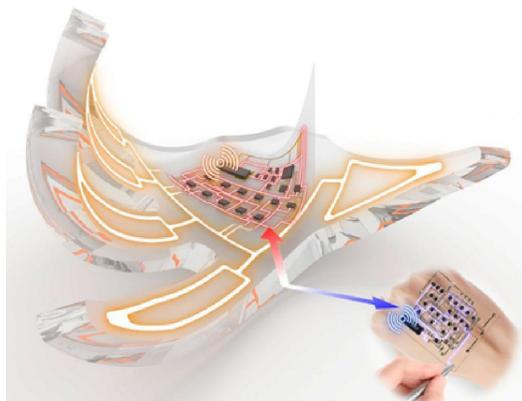


Рисунок 25 — Концепция гибкой электроники и сенсорики eSkin

**Среди основных барьеров развития технологий сенсорики в России выделяются следующие:**

1. Отсутствующий спрос на инновационные и высокотехнологические сенсоры и сенсорные системы на кристалле (sensSoC) — в России нет крупных производителей радиоэлектронной продукции массового потребления (смартфоны, планшеты, дроны, IoT и т.д.). При этом международные производители умной электроники готовы покупать продукцию из России, но при условии сохранения качества и характеристик продукции по меньшей цене, либо качественно лучших характеристик чем у представленных на рынке производителей.

2. Тотальное технологическое отставание от мировых лидеров, однако данное отставание возможно компенсировать покупкой лицензий на технологии с последующим их развитием и/или реверс-инжиниринг продукции лидеров отрасли с последующей модернизацией топологии для обхода патентов.

3. Отсутствие достаточного финансирования разработок технологий сенсорики как со стороны государства, так и частных инвесторов. Например, только за 2017 год компании Intel потратила на научные разработки своих процессоров в 10 раз больше чем вся отрасль микроэлектроники России за последние 7 лет.

4. Полное отсутствие доверия и интереса со стороны частных производителей и инвесторов к выполнению государственных заказов в России начиная с 2019 года в связи с уголовным делом «Т-Платформ». В рамках

этого дела государственная экспертиза на поставку компьютеров «Байкал-Т1» выявила несоответствие ТЗ в виде наличия модуля оперативной памяти на 2Gb (наличие не предусматривалось, предусматривалась возможность расширения до 8 Gb); наличие кондуктивного охлаждения процессора (более совершенное и надежное), вместо активных вентиляторов, а также не соответствие тактовой частоты процессора на уровне 1200 GHz (опечатка в ТЗ или экспертизы), для понимания новейшие процессоры Intel редко превышают частоты 5 GHz. То есть барьером является компетентность экспертной группы государственной приёмки.

**5.** Отсутствие международного известного бренда.

## МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ

Главное направления научно-технического поиска сегодня — совершенствование систем технического зрения и программно-алгоритмического обеспечения к ним, создание специальных процессоров и вычислительных систем.

### 5 ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ:

**1.** Рост промышленных систем компьютерного зрения. Компьютерное зрение для медицинских устройств, фармацевтики, производства пищевых продуктов, автомобильной промышленности предоставляет более высокий уровень контроля качества, а компьютерное

зрение для промышленности станет основным трендом в области компьютерного зрения.

**2.** Облачные системы глубокого обучения. Алгоритмы глубокого обучения и классификаторы нейросетей позволят более быстро и точно проводить классификацию и распознавание изображений от систем компьютерного зрения. В ближайшие годы число таких разработок значительно возрастёт.

**3.** Робототехника. Использование промышленных роботов стремительно увеличивается. Поэтому спрос на системы компьютерного зрения для роботов будет расти.

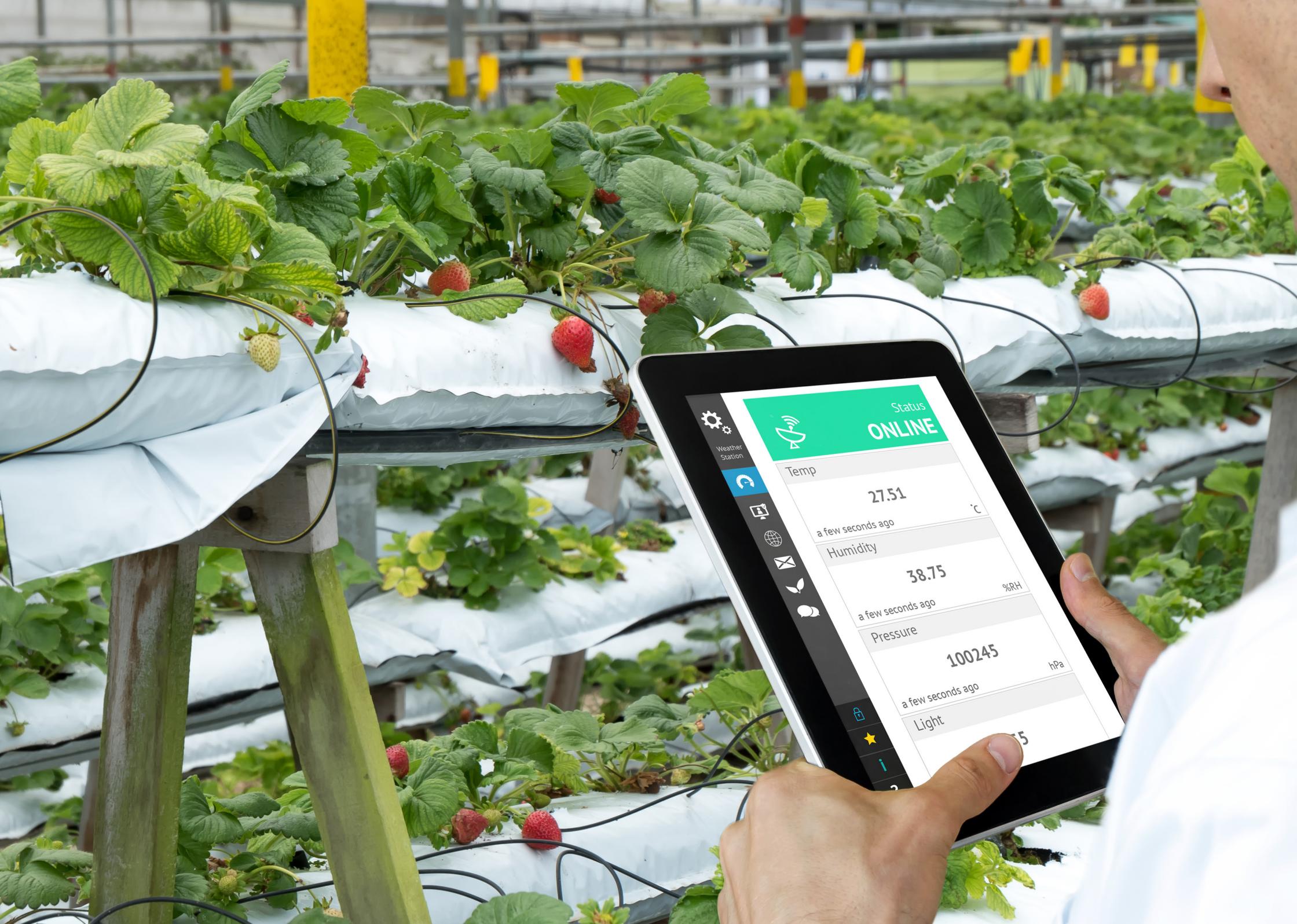
**4.** Рост требований к параметрам оптики для компьютерного зрения, который вызван ростом требований к чёткости и разрешающей способности изображений компьютерного зрения. Разрабатываются и производятся сенсоры для CV-камер с большей разрешающей способностью и с большим количеством пикселей, однако, без качественной оптики эти усовершенствования будут малополезны. Поэтому разрабатываются такие инновационные решения, как микролинзы на каждый пиксель и др., которые кардинально могут повысить параметры работы оптических систем, которые уже подошли к своим технологическим пределам в традиционных решениях.

**5.** Использование термальных изображений при контроле производственных процессов. Обычно термальные камеры использовались в основном для военных целей, в охранном видеонаблюдении. Тер-

мальные изображение в комбинации с компьютерным зрением могут обнаруживать такие аномалии в производственном процессе, которые не видны глазу или традиционным системам компьютерного зрения. [7]

### БАРЬЕРЫ МАССОВОГО ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ:

- Широкое разнообразие типов задач. Значительное количество уникальных задач.
- На предприятиях дефицит специалистов в сфере машинного зрения и глубокого обучения.
- Неэффективность традиционного подхода «поставьте мне готовое решение по тендеру и под ключ».
- Сложность оценки экономического эффекта от локального внедрения системы контроля. [59]



Weather Station



Status  
**ONLINE**

Temp

27.51

°C

a few seconds ago

Humidity

38.75

%RH

a few seconds ago

Pressure

100245

hPa

a few seconds ago

Light

15



5

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

ТЕХНОЛОГИИ

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕНСОРИКИ

Области применения технологии сенсорики весьма обширны и применимы ко всем современным техническим системам. Однако в рамках национальной программы «Цифровая экономика выделены следующие приоритетные отрасли применения сквозной цифровой технологии «Компоненты робототехники и сенсорики». [2]

| Отрасль по ОКВЭД   | Область применения СЦТ  |
|--|---|
| Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство               | Уход за растениями<br>Уборка урожая<br>Уход за животными<br>Мониторинг сельскохозяйственных полей<br>Мониторинг состояния лесного покрова   |
| Добыча полезных ископаемых   | Разведка и диагностика полезных ископаемых<br>Наземная разведка и картографирование<br>Подземная разведка и диагностика месторождения<br>Ассистирование во время добычи полезных ископаемых   |
| Обрабатывающие производства  | Сборка<br>Погрузка/разгрузка<br>Нанесение клея и распыление<br>Упаковка, укладка и паллетирование<br>Маркировка   |
| Строительство  | Мониторинг и контроль строительной площадки<br>Демонтаж и разрушение строений и конструкций, уборка стройплощадок<br>Земляные работы<br>Перемещение и установка плоских материалов (сэндвич-панели, остекление)<br>Внутренняя и внешняя отделка/<br>Штукатурные работы/ Малярные работы |
| Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов | Консультирование покупателей<br>Инвентаризация полок<br>Выкладка товара<br>Упаковка<br>Сборка заказа<br>Перемещение грузов  |

| Отрасль по ОКВЭД  | Область применения СЦТ  |
|---|---|
| Транспортировка и хранение                                | Сортировка<br>Упаковка и паллетирование<br>Погрузка<br>Отслеживание посылок и грузов  |
| Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания | Консультирование клиентов<br>Приготовление пищи<br>Выкладка продуктов   |
| Образование   | Образовательные программы<br>Обучение на физических симуляторах/конструкторах   |
| Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг | Обслуживание пациентов (регистрация, медицинские карты, справочная информация)<br>Сопровождение пациентов<br>Ассистирование на операции<br>Реабилитация пациентов<br>Обследования пациентов<br>Протезирование |

Таблица 3 – Приоритетные отрасли применения сквозной цифровой технологии «Компоненты робототехники и сенсорики»

Кроме указанных приоритетных областей применения технологий сенсорики, которые будут поддерживаться и развиваться в рамках национальной программы, технологии сенсорики активно применяются и стали неотъемлемой частью продукции следующих отраслей:

- Автомобилестроение
- Авиастроение
- Аэрокосмическая отрасль
- Приборостроение
- Станкостроение
- Пищевая промышленность
- Металлургия
- Биотехнологии
- Нефтехимия и т.д.

Технология сенсорики применяется там, где необходимо производить точные и непрерывные измерения физических характеристик объектов или среды, а также различных состояний объектов: формы, объемов, твердости, вязкости и т.д. Отдельное направление сенсорики в последнее время активно применяется в различных технических системах – это определение пространственного положения объектов. Если раньше данное направление сенсорики применялось исключительно в аэрокосмической и автомобильной отрасли, то сейчас данное направление активно внедряется в повседневную жизнь и в такие продукты как смартфоны, часы, квадрокоптеры и другие БПЛА, IoT-системы (в том числе для промышленности), AR/VR оборудование, робототехника, автономный транспорт, гироскутеры и многие другие.

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

В настоящее время машинное зрение применяется в различных отраслях цифровой экономики: «Умный город», беспилотный наземный транспорт и системы помощи водителю, БПЛА, сельское хозяйство, здравоохранение и др.

### ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ

**Созданы системы интеллектуального видеонаблюдения на основе глубокого обучения с целью распознавания событий и предметов на кадрах видеоматериалов:**

- распознавание лиц;
- обнаружение движения;
- обнаружение статических объектов;
- отслеживание маршрута передвижения людей;
- обнаружение аномальных ситуаций;
- оценку позы человека.

**Технологии распознавания лиц применяются в самых различных сферах:**

- обеспечение безопасности в местах большого скопления людей — системы охраны, избежание незаконного проникновения на территорию объекта, поиск злоумышленников; фейс-контроль в сегменте общепита и развлечений, поиск подозрительных и потенциально опасных посетителей;
- верификация банковских карт и онлайн-платежи по

лицу;

- предоставление контекстной рекламы (цифровой маркетинг);
- выделение лиц на фото при фотографировании;
- поиск без вести пропавших лиц, и других задач криминалистики;
- поиск фото в больших базах фотоснимков;
- автоматическая отметка людей на фото в социальных сетях и др.

### АВТОМОБИЛЬНАЯ ОТРАСЛЬ

Компьютерное зрение в автомобильной отрасли применяется в виде встроенных в автомобиль систем предупреждения о боковом трафике, что позволяет предотвратить множество аварийных ситуаций в то время, когда водитель не замечает транспорт, движущийся в том же направлении.

### ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС

**Компьютерное зрение в ОПК применяется в следующих целях:**

- видеонаблюдение;
- автономные транспортные средства;
- средства обезвреживания минных полей;
- контроль качества при производстве боеприпасов.

### БПЛА

Дрон с компьютерным зрением способен распознавать препятствия при помощи встроенной системы

компьютерного зрения и машинного обучения, а также способен самостоятельно выбирать маршрут полёта до указанной оператором цели.

### МЕДИЦИНА И ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

В медицине компьютерное зрение применяется для обработки медицинских изображений с целью разработки плана дальнейшего лечения.

Системы с машинным обучением на базе изображений компьютерного зрения помогают врачу поставить диагноз, так как способны распознать мелкие детали на изображении (рентген, томография, УЗИ) с высокой степенью надежности. Медицинские роботы, оснащенные системами компьютерного зрения, уже доказали свою эффективность на практике. Хирургическая система «da Vinci Xi» имеет расширенные основные возможности, в том числе инструменты визуализации 3D-HD и интуитивного движения. Данная технология видения обеспечивает хирургу увеличенное изображение для точного позиционирования во время операции. [9]

В фармацевтическом производстве компьютерное зрение необходимо для отслеживания всех компонентов состава и качества готовой продукции.

### СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Применение БПЛА дает возможность получать топографические карты местности, а использование технологий обработки изображений позволяет получать

3D-модели участков земной поверхности с определением любых геометрических размеров.

Компьютерное зрение позволяет с высокой точностью позиционировать орудия обработки (2 см на дистанции в 6 м)

### **РОЗНИЧНАЯ ТОРГОВЛЯ**

В розничной торговле компьютерное зрение в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта применяется для отслеживания наличия полного ассортимента товаров и контролирования длины очереди в кассе. С помощью компьютерного зрения можно посчитать посетителей торгового центра или даже определить, в каком настроении эти посетители.

### **ЛОГИСТИКА, ДОСТАВКА ТОВАРОВ**

Компьютерное зрение применяют для анализа складских запасов так, например, для определения объёмов древесных бревен фотографируют штабель бревен с двух сторон, далее программа обработки изображений автоматически определит их количество.

### **ПРОИЗВОДСТВО**

Компьютерное зрение на производстве позволяет отслеживать качество произведенного продукта не только после его изготовления, но и во время производственного процесса

В промышленности машинное зрение позволяет

снизить себестоимость продукции за счет частичного или полного отказа от выполнения ручных операций. Человек не в состоянии оценивать предметы после нескольких часов работы. Зато роботы могут сутками сортировать товары.

В машиностроении системы компьютерного зрения применяют для считывания маркировки компонентов при сборке на конвейере. Компьютерное зрение также используется для повышения качества, в частности, для осмотра, калибровки, проверки размеров, зазоров, расстояний, а также для выравнивания деталей на линиях сборки автомобилей

В производстве пищевой продукции системы компьютерного зрения могут проверять, все ли ингредиенты указаны на упаковке товара, особенно те, которые могут содержать аллергические вещества. При изготовлении микросхем и электронных компонентов компьютерное зрение используют в чистых помещениях для контроля размещения кремниевых пластин, маркировки и положения чипа интегральных схем и других элементов. [6]

Применение промышленных роботов на производстве для перемещения предметов требует высокой точности позиционирования. В этом помогают продвинутые системы машинного зрения. С их помощью роботы способны проводить автоматический анализ

предметов. Устройства захвата изображений, а также устройство анализа и обработки изображений в рабочей зоне манипулятора являются главными составляющими системы машинного зрения. Это не только ускоряет выполнение работ, но и исключает ошибки, обусловленные человеческим фактором. [9]

#### **Также с помощью машинного зрения возможно:**

- контролировать процесс сборки изделия;
- считать объекты;
- измерять параметры объектов (длина, ширина, площадь, объем);
- определять геометрическую точность предмета;
- считывать текст, цифры, идентифицировать подписи;
- определять положение, дальность, скорость объектов и т.д.



- /Administration
- /Human Resources
- /Legal
- /Accounting
- /Finance
- /Marketing
- /Publicity
- /Production
- /Research
- /Business Development
- /Engineering
- /Manufacturing
- /Planning

← 100m

48  
mph

Self-Driving

- 02165461566
- 5664613452159
- 456129782133
- 36896116259746
- 294796336564
- 2177119910265

66  
82  
40





# 6 | ПРИМЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ

И/ИЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

# ПРИМЕРЫ ВНЕДРЕНИЯ И/ИЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

## ТЕХНОЛОГИИ СЕНСОРИКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Технологии сенсорики в промышленности применяются на этапах автоматизации и цифровизации технологических процессов и/или технологического оборудования, а также при внедрении бережливого производства. Датчики, сенсоры, контроллеры и другое периферийное оборудование – это неотъемлемая часть экосистемы Индустрии 4.0. Датчики и сенсоры измеряют необходимые параметры (температуру, давление, уровень, вибрацию и т.д.), регистрируя изменение окружающей среды, а не ее статическое состояние.

**1.** Михеевский ГОК «Русской медной компании», расположенный в Варненском районе Челябинской области, одно из самых современных предприятий в отрасли. Для управления техпроцессами достаточно всего троих человек в смену: двух операторов и технолога. К производственной инфраструктуре обогатительной фабрики подключено более 3000 датчиков и сенсоров.

Интеграция сети контроллеров, датчиков и исполнительных устройств в единое информационное пространство позволила в разы сократить время диагностики оборудования, его юстировки, а также исключения причин отказов и брака продукции. [60]

**2.** Завод радиоэлектронной продукции «Технинжини-

ринг» внедрил на своем предприятии беспроводной контроль (разработчик – «СТРИЖ»), установив более 550 сенсоров, датчиков и устройств (электросчетчиков, датчиков протечки, температуры, теплосчетчиков и пр.). За 4 месяца эксплуатации экономия на отоплении составила 48%. Такой показатель был достигнут за счет сокращения потерь тепла и более точного учета коммунальных ресурсов.

**3.** АО «ММЗ «Вперед» реализовало проект по внедрению системы автоматизированного сбора данных о работе оборудования и анализа эффективности его использования. В рамках проекта было подключено более 600 сенсоров и датчиков к 120 станкам интегрированных в автоматизированную информационную систему. Результатом реализации проекта стали сокращение простоя станочного парка в среднем на 10% и автоматизация взаимодействия между цехами предприятия.

**4.** Объединённая двигателестроительная корпорация собрала базу данных по эксплуатации своей продукции в реальных условиях при помощи внедрения сенсорной системы контроля параметров двигателя. Данная информация представляет интерес как обратная связь математической модели двигателя и его реального поведения в реальных условиях.

**5.** «Вертолеты России» реализуют проект системы мо-

ниторинга состояния и загрузки производственного оборудования. Первоначально планируется оснастить системой мониторинга работы оборудования станки с ЧПУ по механической обработке, с последующим расширением на других видах операций, в том числе и на сборке, оснатив ее элементами роботизации. Система контроля состояния детали и инструмента для обрабатывающих центров с ЧПУ представляет собой комплект датчиков и щупов, которые обеспечивают измерения, а также комплект программного обеспечения, который обеспечивает интеграцию сенсоров и датчиков с системой ЧПУ.

**6.** Производитель мотоциклов Harley Davidson внедрил на своих предприятиях автоматизированную систему производства. До ее внедрения компания имела небольшие возможности по выпуску продукции под заказ – всего 5 выпускаемых моделей, а также компания долго реагировала на запросы потребителей. В период с 2009 г. по 2011 гг. компания провела реконструкцию промышленных площадок, в результате чего был создан единый сборочный цех с возможностью осуществления сборки под заказ из более 1300 опций, что дало возможность выпускать любой тип мотоцикла. Для этого на всех этапах производственного процесса используются датчики и сенсоры, регистрирующие параметры технологических операций и их этап. В результате, каждые 89 секунд с конвейера сходит мотоцикл, полностью настроенный под будущего вла-

дельца, таким образом удалось сократить производственный цикл с 21 дня до 6 часов.

**7.** Пример эффективного использования технологий сенсорики продемонстрировал американский производитель газовых турбин General Electric: компания внедрила систему удаленного мониторинга технологического оборудования. Чтобы избежать внеплановых остановок и своевременно собирать информацию о предстоящем ремонте, мониторинг осуществляется в непрерывном режиме по всему миру. General Electric под эти цели была разработана система, позволяющая обрабатывать огромный массив информации с десятков тысяч датчиков и сенсоров подключенных к работающим турбинам. Совокупный экономический эффект для предприятий, эксплуатирующих оборудование, оценивается в 100 млрд долл. США в год.

**8.** Компания Tibbo Systems 10 июня 2016 г. завершила проект по внедрению системы мониторинга состояния и условий хранения сахарной свеклы для группы компаний Русагро.

Перед отправкой в производство сахарная свекла хранится на кагатном поле — которое представляет собой открытую бетонированную площадку, разделенной на кагаты (кагат — сырьё, уложенное в форме усеченной сверху вытянутой пирамиды). Компании Русагро требовалась система контроля и мониторинга состояния среды хранения сырья на кагатном поле. В рамках

проекта был спроектирован измерительный прибор в виде штанги, оснащенный сенсорами температуры, давления, влажности и концентрации углекислого газа (CO<sup>2</sup>), а также системой GPS/ГЛОНАСС, передающей информацию о координатах местоположения измерительного прибора. Эти приборы были распределены на участках кагатного поля.

Внедрение системы помогло улучшить условия, режим хранения и очередность подачи в производство сахарной свеклы, тем самым повысить экономические показатели на отдельно взятом заводе по производству сахара.

**9.** На шахте «Скалистая» Заполярного филиала «Норникеля» в феврале 2018 г. закончилась реализация проекта по внедрению систем радиосвязи и позиционирования стоимостью 1,2 млрд руб.

В ходе выполнения проекта на «Скалистой» было проведено более трехсот километров оптических линий связи для обеспечения высокоскоростной сети передачи данных, 12600 шахтных головных светильников были оснащены устройствами для позиционирования персонала, 660 единиц подземной самоходной техники были оборудованы мобильными устройствами регистрации, в подземных горных выработках было установлено 885 единиц считывающих устройств систем позиционирования, а также 551 устройство беспроводной передачи данных Wi-Fi.

Система осуществляет оперативную связь диспетче-

ра и руководства рудников с подземными рабочими, автоматизирует табельный учёт персонала рудника, позволит осуществлять непрерывный мониторинг местоположения персонала и также технологического оборудования.

## **МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**1.** Компания «NVIDIA» научила беспилотник двигаться по тропинке в лесу. Система может работать там, где не работает ни GPS, ни другие навигационные системы. Программа анализирует данные с камер и исходя из этого принимает решения о движении. Такие системы могут применяться в закрытых помещениях, шахтах, подвалах где нет доступа к спутниковой или радиочастотной навигации, а также в условиях непостоянства конфигурации транспортных путей, например, в цехах на промышленных заводах.

**2.** Система идентификации и подсчета капсульных детонаторов на предприятии ОПК

**Задача:** считывание маркировки и подсчет капсуль-детонаторов в коробке с 100% точностью.

**Решение:** система на основе камер машинного зрения (взрывозащищенное исполнение), специализированного освещения и ПО обеспечивает считывание и распознавание нанесенного на изделие идентификационного номера и подсчет капсуль-детонаторов в коробке.

**Результаты:** увеличение производительности труда, минимизация влияния человеческого фактора (ошибки распознавания и подсчета), обеспечение достоверности данных при прослеживании продукции с точностью до каждого изделия (требование законодательства и клиентов). [59]

**3.** Идентификация труб по маркировке на Выксунском металлургическом заводе

**Задача:** автоматизация оптической идентификации труб для прослеживания продукции на предприятии.

**Решение:** система на базе камер машинного зрения и сервера распознавания выполняет оптическое распознавание нанесенного на трубы идентификационного номера в виде цифровых символов.

**Сложность:** Распознавание осуществляется в сложных условиях производственного цеха с труб большого диаметра в движении (при вращательном качении по наклонным направляющим). Низкое качество маркировки, большая зона контроля, бликующая поверхность и большой сортамент труб.

**Результаты:** обеспечение достоверности данных (с точностью до каждого изделия) при прослеживании продукции на различных этапах производства (требование клиентов к электронному паспорту изделия). [59]

**4.** Контроль качества сельхозпродукции на ГК «Русагро»

**Задача:** оценка качества сахарной свеклы в кузове транспортного средства в ходе ее приемки.

**Решение:** В момент регистрации грузового автомобиля по сигналу от системы учета выполняется съемка его кузова. Полученные изображения анализируются с помощью нейронных сетей: определяется загрязненность свеклы, количество сколов и травы, наличие снега. По полученным данным выполняется классификация сырья по категориям качества.

**Результаты:** минимизация потерь при хранении некачественной продукции. [59]

**5.** Обеспечение безопасности

Например, если работник работает без шлема, система может заблокировать его рабочее место и предупредить по громкой связи. Это позволяет сократить несчастные случаи на производстве.

**Линейка решений:**

**Контроль использования средств индивидуальной защиты (СИЗ):**

- детекция касок и жилетов;
- оповещение оператора о нарушениях;
- фиксация факта нарушения в базе данных.

**Контроль нахождения людей в опасных зонах:**

- детекция человека на изображении;
- подача предупредительного сигнала в случае его нахождения в опасной зоне;
- запись инцидента в базу данных.

Контроль выполнения технологических операций:

- детекция опасных движений человека на изображении;
- подача предупредительного сигнала и сигнала для аварийной остановки механизма;
- запись инцидента в базу данных

**Прочее применение систем машинного зрения в различных отраслях экономики**

**1.** Норвежская компания «Stingray Marine Solutions» разработала подводного робота, который помогает лососевым фермам бороться с паразитами — лососевой вошью. Подводный дрон использует систему распознавания изображений, чтобы находить паразитов и ликвидировать их без вреда для рыб, с помощью лазера. Технологию уже используют в Норвегии и Шотландии.

**2.** Компания «Трах» разработала платформу для ритейла. Вот одна из возможностей сервиса:

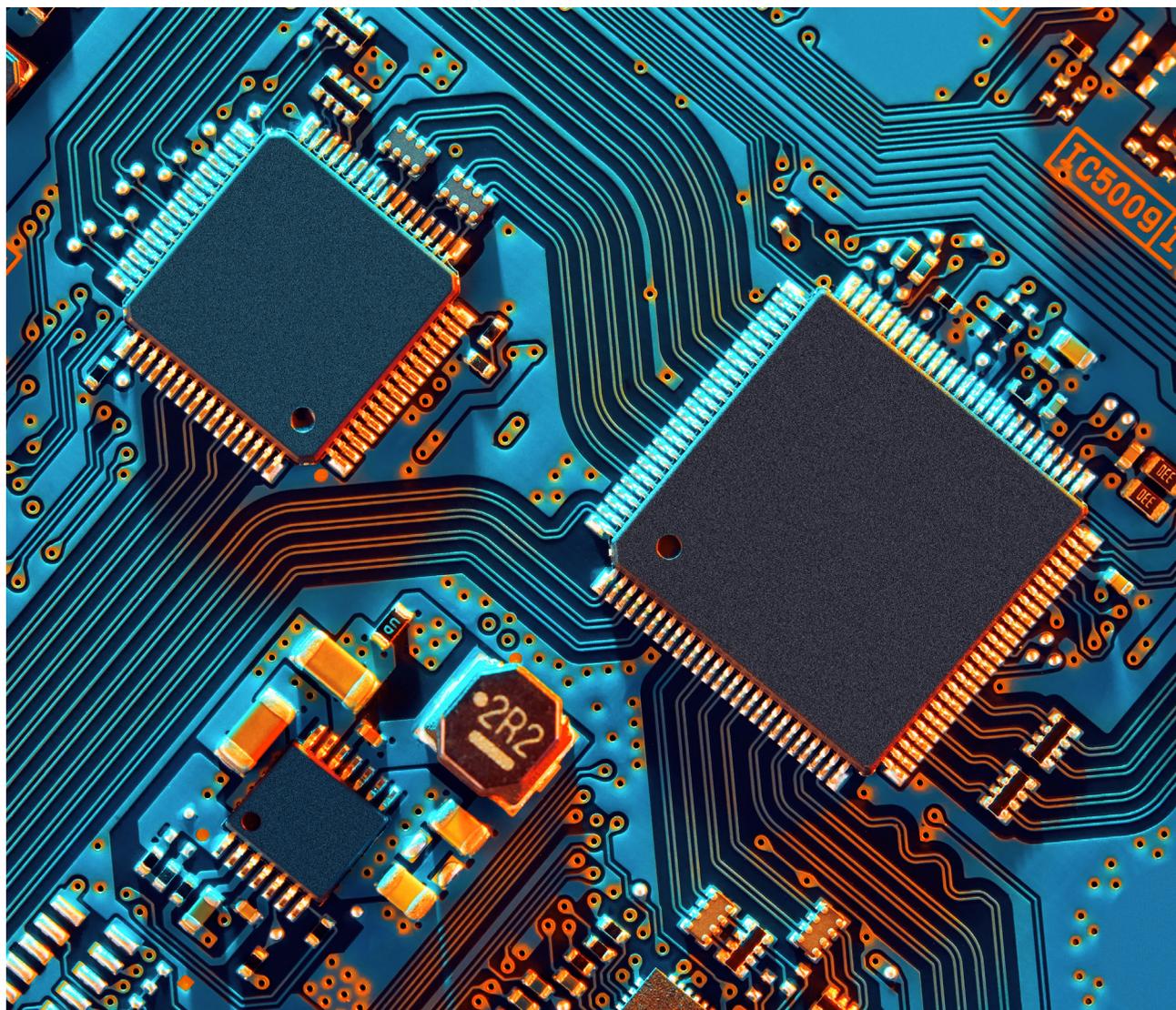
- сотрудник магазина фотографирует полку;
- фотография отправляется в облачный сервис аналитики;
- менеджеры получают отчет о проданных продуктах с советами, какие продукты нужно добавить на полку, чтобы сбалансировать ассортимент, как их расположить, где не хватает ценников и т. д. [4]

### 3. Подсчет дорожного трафика для «МАУ ЦМИРИТ»

**Задача:** автоматический подсчет автомобилей по категориям на заданном участке дорожной сети для определения интенсивности и контроля дорожно-транспортной ситуации в городе.

**Решение:** программное обеспечение AVEDEX для подсчета и классификации автомобилей на основе технологии машинного обучения.

**Результаты:** программное обеспечение анализирует движение транспортных средств в 16 точках города Череповца: ведет подсчет общего количества транспортных средств и разделяет их по категориям (легковые, грузовые, общественный транспорт). Для улучшения анализа количество определяемых категорий планируется увеличить до 12, уже сейчас данные помогают определить самые загруженные участки в городе по времени. [59]







7

# КООПЕРАЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

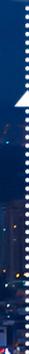
ЦЕПОЧКИ

## КООПЕРАЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЦЕПОЧКИ

| Наименование технологии/продукта  | Производитель технологии/продукта                     | Потребитель технологии/продукта  | Примечание   |
|---|---|--|--|
| Технология производства ИК-фотоприёмных матричных модулей на базе гетероструктурных полупроводников       | АО «Оптрон»,<br>г. Москва, АО ЗНТЦ,<br>Зеленоград     | н/д  | ИК- камеры, ИК спектрометры, системы машинного зрения, сенсоры и преобразующая аппаратура оптического и теплового излучения с функцией распознавания образов, обеспечение мониторинга, подсчета наблюдаемых объектов и выявления их характерных признаков с высокой контрастностью в условиях задымленности, пыли и тумана |
| Бортовая цифровая сенсорная система неконтактного мониторинга состояния водителя                          | ОАО «ЗИТЦ»,<br>ООО «ИЦ МИЭТ»,<br>АО «Автоэлектроника» | н/д  | н/д  |
| Компактный радар авиационного и космического базирования для комплексов дистанционного зондирования земли | н/д   | н/д  | Картографирование с большим разрешением, составление цифровой модели рельефа и 3D карт местности, контроль ледовой обстановки, анализ распространения природных катастроф, контроль сельскохозяйственных и лесных угодий   |
| Разработка сенсорной системы мониторинга состояния пациента   | н/д   | Стационарная помощь, медицина катастроф; военная медицина; бригады скорой помощи | Система предназначена для дальнейшей интеграции с различными устройствами, в том числе с прикроватными мониторами, клиническими дефибрилляторами –мониторами, а также другим реанимационным оборудованием  |

| Наименование технологии/продукта   | Производитель технологии/продукта  | Потребитель технологии/продукта | Примечание  |
|--|--|---------------------------------|---|
| Создание телемедицинских систем управления и контроля физиологических параметров организма | Акционерное общество «Зеленоградский инновационно-технологический центр» (АО «ЗИТЦ») | н/д                             | Телемедицинские системы диагностики и динамического наблюдения, дистанционное обследование, космическая телемедицина                                |
| Аппарат длительного искусственного кровообращения носимый АДИ-Н «Спутник»                  | н/д  | н/д                             | Кардиохирургия. Для пациентов, ожидающих пересадки сердца или находящихся на реабилитации   |
| Ориентация и навигация беспилотных аппаратов по видеоизображению                           | н/д  | н/д                             | Ориентация и навигация беспилотных летательных аппаратов и транспортных средств при отсутствии сигналов ГСН, например, закрытые складские комплексы |





8

# ОСНОВНЫЕ ПОСТАВЩИКИ

И ПРОИЗВОДИТЕЛИ

# ОСНОВНЫЕ ПОСТАВЩИКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ

## МИРОВЫЕ ПОСТАВЩИКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ

### СЕНСОРИКА:

#### Silicon Sensing



Silicon Sensing разрабатывает, производит и поставляет высокоточные МЭМС-гироскопы и акселерометры инерционные вычислительные блоки для точных измерений, управления, стабилизации, навигации и управления, применяемых в морских, автомобильных, промышленных, сельскохозяйственных и аэрокосмических приложениях.

Сенсоры, выпускаемые компанией, применяются в медицинской робототехнике и автономных транспортных средствах, а также в экстремальных средах эксплуатации, включая бурение скважин и космос. Компания Silicon Sensing поставила более 20 миллионов инерциальных датчиков на все коммерческие и промышленные рынки.

#### Analog Devices



Крупная компания расположенная в США, производитель интегральных микросхем для решения различных задач. В настоящее время компания производит широкий спектр инновационных продуктов, включая преобразователи данных, усилители и аналого-цифровые преобразователи, радиочастотные интегральные схемы, микросхемы управления питанием, датчики на основе технологии микроэлектромеханических систем (MEMS) и другие датчики, а также продукты для обработки цифровых сигналов, включая цифровые сигнальные процессоры (DSP) и микроконтроллеры.

#### InvenSense (TDK)



InvenSense Inc. Американская компания с собственным производством МЭМС гироскопов, акселерометров, магнетометров, совмещенных сенсоров, которые отслеживают положение объектов в пространстве. Сенсоры применяются в различных электронных устройствах, таких как смартфоны, планшеты, носимые устройства, игровые устройства, БПЛА и т.д..

В 2016 году компанию выкупила японская компания TDK за 1,3 млрд долл. США. В настоящее время американская компания Apple является крупнейшим клиентом TDK (11% выручки) и InvenSense (50% выручки).

### NXP



Компания NXP (США) разрабатывает и выпускает компоненты для межсетевых интерфейсов в рамках структуры умного дома, умного автомобиля и умного производства, для безопасной обработки сетевой информации и безопасной передачи ее в облачную инфраструктуру, для аутентификации, анализа данных и машинного обучения. Сферы применения продукции NXP – умный дом, умная медицина, умная торговля, портативные персональные приборы, умные здания, голосовые помощники, робототехника, потоковая передача мультимедийной информации.

### ST Microelectronics



STMicroelectronics (Швейцария) – поставщик полупроводниковых приборов для промышленных применений и телевизионных приставок, электроники для автомобильного сектора, интегральных схем для компьютерной периферии и МЭМС датчиков.

### LightPath Technologies



LightPath Technologies (США) – специализация компании заключается в разработке и производстве инфракрасных оптических компонентов.

#### Quanhom Technology

**QUANHOM**

Компания Quanhom Technology (Китай) разрабатывает и производит высокоточные инфракрасные оптические компоненты, специализируется на оптомеханических и электрооптических системах тепловизионного видения.

#### OPTEC SpA

 **optec** S.p.A.  
OPTICAL & OPTOELECTRONIC SYSTEMS

Компания OPTEC SpA (Италия) является одной из лидирующих компаний среди европейских и мировых производителей оптомеханических и оптоэлектронных компонентов.

#### Beck GmbH



Компания Beck — производитель специальных исполнений датчиков под конкретные задачи OEM-производителей из различных отраслей промышленности.

#### Global Sensor Technology



Global Sensor Technology Co., Ltd (Китай) специализируется на разработке и производстве инфракрасных тепловизионных детекторов, активных систем охлаждения по методу Стирлинга и камер на основе собственных датчиков.

#### Xenics



Xenics (Бельгия) – компания, занимающаяся серийной разработкой и производством высокотехнологичной продукции в области фоточувствительных сенсоров ИК-диапазона.

#### GHOPTO



GHOPTO (Китай) – известный независимый частный производитель полного производственного цикла. Компания производит детекторы и камеры SWIR и комбинированного VIS-SWIR диапазонов.

#### ANDANTA



Компания ANDANTA (Германия) специализируется на разработке и производстве сенсоров на базе арсенида индий-галлия детектирующих инфракрасное излучение в ближнем ИК-диапазоне.

#### GWIC



GWIC (Китай) проектирует и изготавливает сенсоры из оксида ванадия с охлаждающим элементом Пельтье, а также занимается проектированием и изготовлением модулей на базе данных сенсоров.

#### Gpixel



Gpixel (Китай) – всемирно известный производитель передовых высококачественных КМОП-сенсоров для промышленных, научных и специальных применений.

ams Sensors Belgium (CMOSIS)



Компания CMOSIS (Бельгия) занимается разработкой и изготовлением новых типов твердотельных оптических сенсоров.

Broadcom



Американская компания по разработке полупроводниковой продукции. Broadcom Inc. выпускает широкий спектр аналоговых, смешанных, и опто-электронных модулей. [14]

**МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ:**

Лидеры мирового рынка поставщиков решений для машинного зрения представлены на рисунке 26. [13]



Рисунок 26 – Лидеры мирового рынка поставщиков решений для машинного зрения

### Cognex



Компания Cognex (США) — это ведущий мировой поставщик систем, датчиков и программного обеспечения машинного зрения, а также промышленных считывателей идентификационного кода, используемых при автоматизации производства.

### GOYO Optical



GOYO Optical — американская компания, специализирующаяся на разработке и производстве объективов высокого разрешения для систем машинного зрения и безопасности.

### SVS-Vistek



Немецкая компания SVS-Vistek является производителем и надежным поставщиком компонентов машинного зрения и специализированных ноу-хау для сложных решений машинного зрения и обработки изображений.

#### INDIGO Imaging



INDIGO Imaging — китайская компания, специализирующаяся на разработке научных камер для систем машинного зрения, аэрокосмической промышленности, криминалистики, естественных наук и др.

#### MORITEX



MORITEX Corporation (Япония) — производитель оптического оборудования для систем машинного зрения.

#### VS Technology



Компания VS Technology Corporation (Япония) специализируется на производстве оптических компонентов высокого качества для систем машинного зрения, видеонаблюдения и безопасности.

#### Dahua



Компания Dahua Technology (Китай) — это ведущий мировой производитель и разработчик решений в области видеонаблюдения.

#### Ximea



Ximea (Германия) — производитель промышленных камер. Камеры Ximea в основном предназначены для использования в научных задачах и в промышленности для систем машинного видения. такие камеры как серия xiQ — камеры с интерфейсом USB 3.0, xiRAY — рентгеновская охлаждаемая ПЗС-камера, xiSPEC — самые миниатюрные гиперспектральные камеры.

#### Tucsen



Tucsen (Китай) — производитель SCMOS, HDMI и USB CMOS камер на основе научных высокочувствительных сенсоров торговой марки Gpixel. Компания является передовым разработчиком и производителем цифровых камер для научного и промышленного применения в различных научных проектах, медицине, промышленной автоматизации, машинном зрении, судебной экспертизе.

## РОССИЙСКИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

### СЕНСОРИКА:

АО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор» – соинвестор создания Консорциума центра компетенций НТИ по направлению «Технологии сенсорики»



Выполняет полный цикл работ от фундаментально-поисковых исследований до производства и поддержания продукции в эксплуатации по направлениям: Навигационные комплексы подводных лодок и надводных кораблей. Инерциальные системы навигации и стабилизации надводных кораблей. [15]

### АО «НПП «Исток им. Шокина»



Основное направление деятельности – новые разработки и серийное производство современных и перспективных изделий СВЧ-электроники для всех видов связи и радиолокации.

В настоящее время НПП «Исток» поддерживает около 30% всей номенклатуры изделий СВЧ-электроники, выпускаемой в России, что определяет его главную роль в отрасли.

Предприятие обладает замкнутыми технологическими циклами разработки и производства СВЧ-транзисторов, монокристаллических интегральных схем, модулей СВЧ любой функциональной сложности, электровакуумных СВЧ-приборов и комплексированных СВЧ-устройств на их основе, радиоэлектронной аппаратуры и ее составных частей. [16]

### АО «Российская электроника»



Российский холдинг, объединяет предприятия-производители электронной продукции, образован в 1997 году. Холдинг создан для консолидации предприятий радиоэлектронной промышленности, выработки единой научно-технической политики и стратегии развития, финансового оздоровления активов. Объединяет более 150 предприятий и научных организаций, специализирующихся на разработке и производстве электронных компонентов и технологий, средств и систем связи, автоматизированных систем управления, робототехнических комплексов, СВЧ-электроники, вычислительной техники и телекоммуникационного оборудования. [18]

**АО «Калужский завод электронных изделий  
«Автоэлектроника»**



Предприятие специализируется на разработке и производстве электронных компонентов и систем для крупнейших производителей автомобилей России и ближнего зарубежья.

**Основные виды выпускаемой продукции:**

- электромеханические усилители руля (ЭУР);
- цифровые тахографы;
- датчики ЭСУД (давления, скорости, фаз, коленвала и др.);
- системы отопления салона (контроллеры САУО, моторедукторы заслонки отопителя, датчики температуры);
- электрооборудование пусковых, подогревательных, отопительных устройств (блоки и пульты управления двухрежимным и жидкостным подогревателем);
- элементы управления (модули управления светотехникой, регуляторы освещения приборов, переключатели корректора света фар, цифровые часы);
- регуляторы напряжения и реле (прерыватели указателей поворота, реле задних противотуманных огней, реле стеклоочистителя). [19]

**НПК «ЭЛАРА» им Г.А. Ильенко**



Является одним из ведущих приборостроительных предприятий страны, использует самое современное оборудование и прогрессивные технологии, производит промышленную и автомобильную электронику, железнодорожную автоматику, развивает направление контрактного производства электроники. [20]

#### АО «Группа Систематика»



Одна из ведущих российских ИТ-компаний, входит в ТОП-5 системных интеграторов российского рынка информационных технологий. Группа консолидирует 30-летний опыт работы и обладает диверсифицированным портфелем компетенций и практик, ИТ-услуг и решений.

ГКС входит в крупнейший ИТ-холдинг России – НКК (Национальная Компьютерная Корпорация). Консолидация решений и проектного опыта в рамках Группы предоставляет дополнительные возможности для реализации масштабных проектов. Стратегия Группы направлена на предоставление полного спектра услуг в области информационных технологий для государственных структур, крупных компаний и холдингов, предприятий среднего и малого бизнеса более 20 отраслей экономики. [21]

#### Научные и образовательные учреждения:

- Санкт-петербургский политехнический университет (СПбГУ)
- Университет «ИННОПОЛИС» – исполнитель проекта в интересах дорожных карт НТИ
- Санкт-петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО)
- Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
- ГНЦ РФ «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК)

#### МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ:

##### ROBODEM



Разработчик систем искусственного интеллекта, машинного обучения, технического зрения и роботов для промышленности и государства, финансовой индустрии, торговли, городского управления и хозяйства, агропромышленного комплекса. Также занимается разработкой технологий нового поколения для цифровизации и автоматизации экономики, систем управления и хозяйства, является участником проектов «Умный завод», Индустрии 4.0, «Умный город». [30]

#### Fam Robotics



В компании занимаются автоматизацией производственных процессов с помощью промышленных роботов с системами машинного зрения. [31]

#### Vocord



Разработчик и производитель высокотехнологичных систем безопасности на базе машинного зрения и интеллектуальных алгоритмов обработки видео. [32]

#### Macroscop



Компания, разрабатывающая программное обеспечение для видеонаблюдения, интеллектуальные функции видеоанализа, а также сетевые видеорегистраторы.

## МОСКОВСКИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

### СЕНСОРИКА:

20 декабря 2018 года в НИУ МИЭТ (Москва, Зеленоград) состоялась церемония открытия Центра компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) по сквозной технологии «Сенсорика».

Основной технологической площадкой для отработки и последующей передачи технологий для серийного производства на предприятиях промышленных партнеров Центра компетенций НТИ МИЭТ является Зеленоградский нанотехнологический центр.

В числе участников консорциума Центра НТИ «Сенсорика» на базе МИЭТ – Санкт-Петербургский политехнический университет (СПбПУ), университет Иннополис, Сколковский институт науки и технологий (Сколтех), а также АО «Завод «Протон» и ПАО «КАМАЗ». Стратегическими партнерами выступают Фонд содействия инновациями и Фонд инфраструктурных образовательных программ Роснано. [1]

В консорциум «Сенсорика» входят научные и образовательные учреждения, а также промышленные компании:

### «Интегра-С»



Разработка, проектирование, монтаж и обслуживание интегрированных систем безопасности, систем видеонаблюдения, систем пожарной и охранной сигнализации, систем контроля и управления доступом, систем контроля дорожного движения, распознавания а/м, ж/д номеров и пр.

Разработка и производство радиоэлектронных устройств, технических систем и средств обеспечения транспортной безопасности.

#### АО «Оптрон»



Адрес: 105187, г. Москва, ул. Щербаковская, д. 53, к. 7, каб. 37  
Тел.: +7 (495) 366-22-66  
E-mail: info@optron.ru

Московский завод по выпуску элементов и приборов микроэлектроники. Предприятие производит выпрямительные диоды, полупроводниковые приборы некогерентной оптоэлектроники, ВЧ и СВЧ диоды, стабилитроны, автосветотехнические изделия. Также на предприятии выпускаются:

- различные типы диодов: выпрямительные общего назначения, суперъяркие, СВЧ, регулируемые ВЧ, коммутационные и пр.;
- стабилитроны;
- полупроводниковые индикаторы, включая многоуровневые;
- экранные модули, табло, информационные экраны (в т.ч. «бегущая строка»);
- диодные и транзисторные оптопары;
- дорожные знаки и знаки пожарной безопасности, маршрутные указатели с светодиодами;
- энергосберегающее оборудование. [17]

#### Зеленоградский нанотехнологический центр – соинвестор создания Консорциума



Адрес: 124527, Москва, Зеленоград, ул. Солнечная аллея, д.6, помещение IX, офис 17  
Тел.: + 7 (499) 720-69-44  
E-mail: info@zntc.ru

«Зеленоградский нанотехнологический центр» – один из четырех нанотехнологических центров, организованных госкорпорацией «Роснано» в 2010г. совместно с ОАО «Зеленоградский инновационно-технологический центр» и Национальным исследовательским университетом «МИЭТ».

Основные специализации:

- сенсоры физических, биологических и химических величин;
- интеллектуальные системы навигации и управления для транспорта, авиационной техники, спецприменений;
- медицинские системы и диагностические комплексы на основе сенсоров;
- проектирование СБИС по технологии «система на кристалле»;
- интеллектуальные электронные энергосберегающие системы, приборы и оборудование. [22]

#### АО «НПЦ «ЭЛВИС»



Адрес: 124498, Москва, Зеленоград, проезд №4922,  
дом 4, стр. 2

Тел.: + 7(495) 926-79-57

E-mail: secretary@elvees.com

АО НПЦ «ЭЛВИС» является ведущим российским разработчиком систем на кристалле и устройств на их основе.

Компания является центром компетенций в областях процессорных архитектур, аналого-цифровых и радиочастотных ИС, искусственного интеллекта, компьютерного зрения, обработки радиолокационных сигналов, интегрированных систем безопасности. [23]

#### АО «Завод «Компонент»



Адрес: 124460, Москва, Зеленоград, ул. Конструктора Гуськова, дом № 1, строение 1

Тел.: + 7 (499) 735-17-63

E-mail: mail@zavodkomponent.ru

АО «ЗАВОД «КОМПОНЕНТ» обладает полным технологическим циклом производства изделий микроэлектроники. [24]

#### АО «Завод «ПРОТОН»



Адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина,  
д. 1, стр. 6

Тел.: + 7 (499) 734-73-91

E-mail: info@aoproton.ru

Основным направлением деятельности «Завода ПРОТОН» — изготовление вычислительной техники, электронных узлов и блоков как для гражданского назначения, так и в интересах Министерства обороны РФ. [25]

ООО «Нейроботикс» — исполнитель проекта  
дорожной карты НТИ



Адрес: 124498, Москва, Зеленоград, проезд 4922,  
д.4, стр.2, офис 477  
Тел.: + 7 495 742-50-86  
E-mail: info@neurobotics.ru

Компания «Нейроботикс» была основана в феврале 2004 г. и начала свою деятельность с разработки и производства оборудования для исследований в области нейронаук — нейрофизиологии и психофизиологии человека, а также оборудования для поведенческих и физиологических экспериментов на животных. В 2018-2019 гг. группа компаний «Нейроботикс» расширила линейку антропоморфных роботов, разработала и продает нейрогарнитуры NeuroPlay и др. нейроассистивные медицинские устройства. [26]

АО «ГЛОНАСС»



Адрес: г. Москва, ул. Тестовская, д. 10,  
(бизнес-центр «Северная Башня»), под. 2, эт. 12  
Тел.: + 7 (495) 988-47-10  
E-mail: info@aoglonass.ru

Разработчик перспективных технологий и решений в области спутниковой навигации и ее применения в гражданских областях. [27]

АО «Элвис-НеоТек»



Адрес: 124498, Москва, Зеленоград, проезд № 4922,  
дом 4, стр.2  
Тел.: + 7 495 648-78-23  
E-mail: welcome@elveesneotek.com

Ведущий разработчик и производитель высокотехнологичных систем безопасности с применением технологий распознавания образов, компьютерного зрения, радиолокационного, видео, тепловизионного наблюдения. [28]

НПФ «БИОСС»



Адрес: 124489, Москва, г. Зеленоград, Сосновая аллея, дом 6а, строение 1  
Тел.: +7 (495) 276-27-90  
E-mail: info@bioss.ru

Является одним из ведущих российских производителей медицинского оборудования. Приоритетным направлением деятельности фирмы является разработка и производство медицинского ультразвукового диагностического оборудования. [29]

Yandex LIDAR



Компания «Яндекс» разработала собственные лидары двух типов:

1. Лидар с обзором 360 градусов, который собирает информацию об объектах вокруг беспилотного автомобиля. Он представляет собой устройство с вращающимся лазерным излучателем и сенсорами для приёма отраженного сигнала.
2. Твердотельный лидар. В нём используется стационарный лазер с подвижным отражателем на МЭМС зеркалах. Такой лидар имеет угол обзора 120 градусов и чаще всего используется для получения более детальных данных об объектах по направлению движения.

Камеры, созданные в «Яндексе», собраны специально для использования в беспилотных автомобилях «Yandex Self-Driving Cars». Они быстрее адаптируются к изменяющемуся освещению и лучше распознают светодиодные лампы. «Яндекс» планирует использовать новые лидары и камеры в собственных беспилотных автомобилях и роботах-доставщиках и пока не намерен продавать свои сенсоры сторонним компаниям.

## МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ:

### VisionLabs



Адрес: 105062, Москва, Подсосенский переулок,  
д. 23 строение 3  
Тел.: + 7 495 739-70-00  
E-mail: info@visionlabs.ru

В компании занимаются распознаванием лиц и компьютерным зрением. Разрабатывают продукты для финансовой сферы, ритейла, видеонаблюдения и безопасности.

### Yandex Data Factory



Адрес: 119021, Москва, ул. Льва Толстого, 16  
Тел.: + 7 499 399 33 61  
E-mail: pr@yandex-team.ru

Подразделение компании «Яндекс», которое специализируется на анализе больших данных и применении технологий машинного обучения для решения задач промышленности.

### Cognitive Technologies



Адрес: 107113, Москва, 3-я Рыбинская ул., 17  
Тел.: + 7 (495) 956-90-06  
E-mail: info@cognitive.ru

Российская компания в области разработки и внедрения программного обеспечения, которая разрабатывает системы машинного зрения и обработки изображений.

### Synesis



Адрес: Москва, ул. Мантулинская, 24

Тел.: + 7 (495) 660-77-47

E-mail: н/д

Разработчик систем интеллектуального видеонаблюдения и бизнес-аналитики на основе компьютерного зрения.

### АО «Элвис-НеоТек»



Адрес: 124498, Москва, Зеленоград, проезд № 4922, дом 4, стр.2

Тел.: + 7 495 648-78-23

E-mail: welcome@elveesneotek.com

Ведущий разработчик и производитель высокотехнологичных систем безопасности с применением технологий распознавания образов, компьютерного зрения, радиолокационного, видео, тепловизионного наблюдения. [28]

### 3i Technologies



Адрес: 129329, Москва, ул. Кольская д.2, корп.6

Тел.: + 7 (495) 645-44-70

E-mail: Info@3itech.ru

Российская компания, разработчик речевых технологий, голосовой биометрии, а также специализированных продуктов и сервисов для интеллектуальной обработки неструктурированных данных.

### LogistiX



Адрес: Москва, 1-й проезд Перова Поля, 9, стр.1  
Тел.: + 7 (499) 472 40 56  
E-mail: pr@logx.ru

Разработчик и поставщик профессиональных систем управления складом для автоматизации бизнес-процессов складских комплексов.

### Intelligence Retail



Адрес: 143026, Москва, Большой бульвар 42/1, Инновационный центр Сколково  
Тел.: + 7 (499) 550-34-63  
E-mail: info@intrtl.com

Intelligence Retail предлагает аналитические и технологические решения, которые помогут снизить трудозатраты и стоимость контроля выполнения стандартов Мерчандайзинга, повысят продажи и лояльность покупателей. Используя глубокую экспертизу в технологиях компьютерного зрения и искусственного интеллекта, Intelligence Retail разработало программное обеспечение, которое позволяет производителям потребительских товаров улучшить качество дистрибуции по всем торговым точкам и выявить возможности для роста продаж, проанализировав эффективность текущей стратегии Мерчандайзинга.

### Inspector Cloud



Адрес: 121205, г. Москва, Инновационный центр Сколково, ул. Нобеля, 7  
Тел.: + 7 800 511 34 30  
E-mail: sales@inspector-cloud.com

Разработчик цифровой платформы для контроля торговых точек, использующий фотографические данные, которые анализируются при помощи нейронных сетей и глубокого обучения.

#### ABBYY



Адрес: 127273, г. Москва, а/я 32, ул. Отрадная, 2Б,  
строение 6, бизнес-центр «Отрадный»  
Тел.: + 7 (495) 783 3700  
E-mail: sales@abbyy.ru

Международная компания-разработчик решений  
в области интеллектуальной обработки информа-  
ции и анализа бизнес-процессов, распознавания  
текстов и лингвистики.

#### CeraMarketing



Адрес: 121205, г. Москва Территория Сколково ИЦ,  
ул. Нобеля, д. 7  
Тел.: + 7 (499) 640-99-10  
E-mail: office@ceramarketing.com

Используя искусственный интеллект и компьютер-  
ное зрение, CERA помогает магазину автоматизи-  
ровать ключевые процессы, собирать и анализиро-  
вать данные для более эффективного управления  
каждого магазина.

#### Tevian



Адрес: 119634, г.Москва, улица Скульптора Мухи-  
ной, д.7, эт.1, пом.ИІ, комн. 2В  
E-mail: info@tevia.ru

Специализируется на прикладных исследовани-  
ях и разработках в области компьютерного зрения  
и видеоаналитики. Целевые области применения  
разработанных нами технологий включают в себя  
системы безопасности, анализ аудитории, интел-  
лектуальный поиск в видеоархивах, интерактивную  
рекламу, системы дополненной реальности и пр.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии сенсорики в сочетании с технологиями машинного зрения предоставляют техническим системам 100% объема информации о внешнем объекте взаимодействия или о внешней среде.

Области применения технологии сенсорики и машинного зрения весьма обширны и применимы ко всем современным техническим системам. Технологии сенсорики и машинного зрения применяется там, где необходимо производить точные и непрерывные измерения физических характеристик объектов или среды, а также различных состояний объектов: положения, формы, объемов, твердости, вязкости, температуры, скорости вращения и т.д. Отдельное направление сенсорики в последнее время активно применяется в различных технических системах — это определение пространственного положения объектов. Если раньше данное направление сенсорики применялось исключительно в аэрокосмической и автомобильной отрасли, то сейчас данное направление активно внедряется в повседневную жизнь и в такие продукты как смартфоны, часы, квадрокоптеры и другие БПЛА, IoT и IIoT системы, AR/VR оборудование, робототехника, автономный транспорт, гироскутеры, роботы-пылесосы и многие другие.

Важно отметить, что технологии машинного зрения не могут заменить технологии сенсорики, но гармонично дополняют их там, где не могут справиться другие дат-

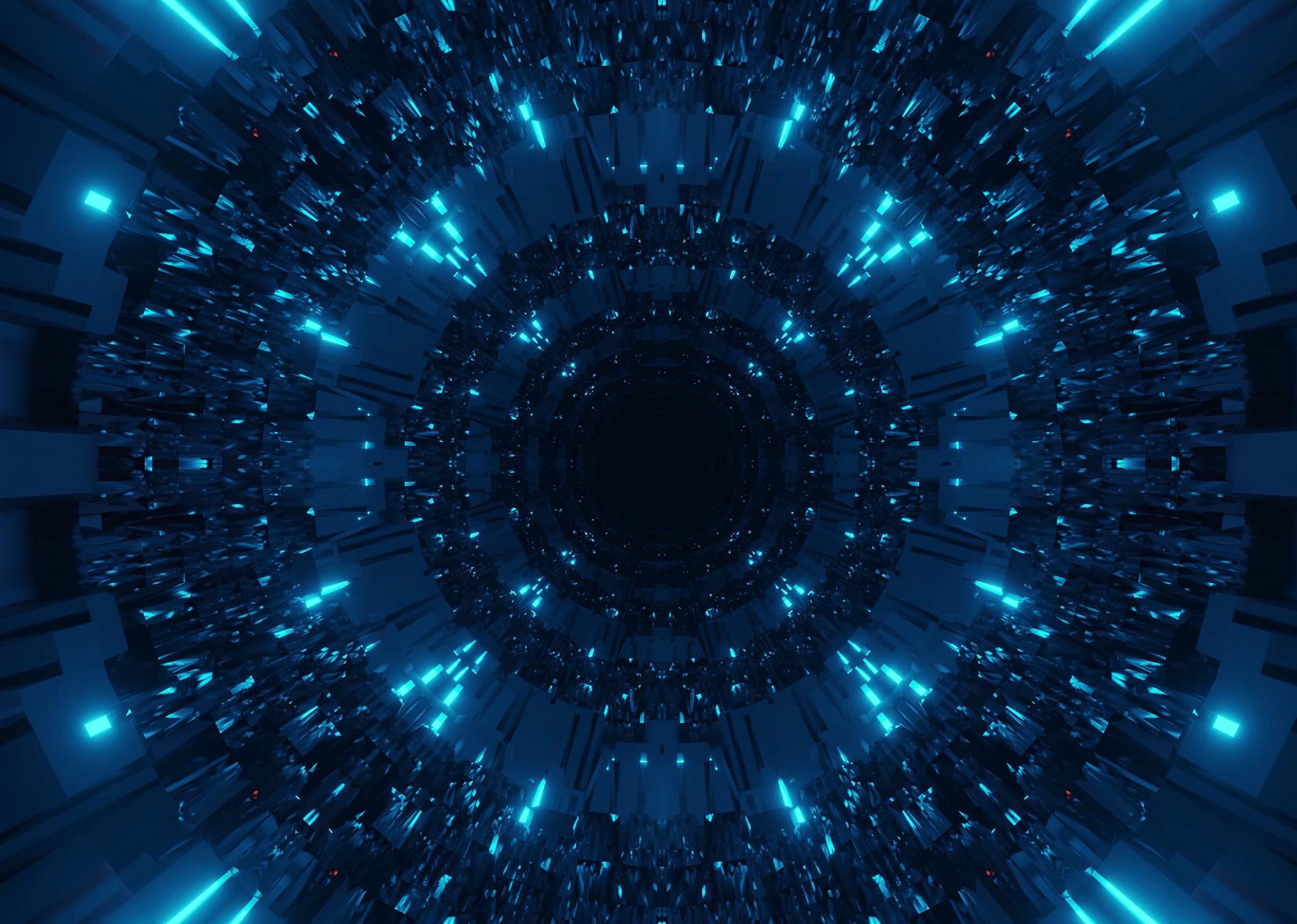
чики и сенсоры.

Прогнозируемый объем рынка сенсорики в течение ближайших пяти лет увеличится до производства триллиона сенсоров в год. Это вызовет необходимость развивать производственные мощности предприятий микроэлектроники. Производство компактных устройств с низким энергопотреблением станет основным драйвером расширения спектра применяемых мобильных и стационарных сенсорных систем. Это неизбежно приведет к появлению новых технологий 3D-сборки, обеспечивающей реализацию различных функций в устройстве миниатюрных размеров.

### **Среди основных барьеров развития технологий сенсорики и машинного зрения можно отметить**

1. Отсутствующий спрос на инновационные и высокотехнологические сенсоры и сенсорные системы — в России нет крупных производителей радиоэлектронной продукции массового потребления (смартфоны, планшеты, дроны, IoT и т.д.).
2. Тотальное технологическое отставание от мировых лидеров.
3. Отсутствие достаточного финансирования разработок технологий сенсорики как со стороны государства, так и частных инвесторов.
4. Полное отсутствие доверия и интереса со стороны частных производителей и инвесторов к выполнению государственных заказов в России.
5. Отсутствие международного известного бренда.

6. Широкое разнообразие типов задач. Значительное количество уникальных задач.
7. На предприятиях дефицит специалистов в сфере машинного зрения и глубокого обучения.
8. Неэффективность традиционного подхода «поставьте мне готовое решение по тендеру и под ключ».
9. Сложность оценки экономического эффекта от локального внедрения системы контроля.



## ПЕРЕЧЕНЬ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. [http://assets.fea.ru/uploads/fea/media/2019\\_prilozhenie\\_2.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/media/2019_prilozhenie_2.pdf)
2. [https://digitech.ac.gov.ru/technologies/robotics\\_and\\_sensors/](https://digitech.ac.gov.ru/technologies/robotics_and_sensors/)
3. Сенсорика. Современные технологии микро- и нанoeлектроники : учеб. пособие / Т. Н. Патрушева. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. – 264 с.
4. <https://robodem.com/machinevision>
5. <https://center2m.ru/vca-how-it-works>
6. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5\\_%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8-%D0%B5\\_\(%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5\\_%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8-%D0%B5_(%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5))
7. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5\\_%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5:\\_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8,\\_%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA,\\_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D1%8B#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D1.8F](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5:_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8,_%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA,_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D1%8B#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D1.8F)
8. <https://www.cognex.com/ru-ru/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>
9. <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie-analiticheskiy-obzor>
10. [https://robotics.ua/shows/modernity/5844-sistemy\\_mashinnogo\\_zreniya\\_istoriya\\_primery\\_plany](https://robotics.ua/shows/modernity/5844-sistemy_mashinnogo_zreniya_istoriya_primery_plany)
11. <http://masters.donntu.org/2013/fkita/timoshenko/library/8.htm>
12. <https://www.bestreferat.ru/referat-206787.html>
13. <https://issek.hse.ru/trendletter/news/196231394.html>
14. <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie-ot-sick-ivp>
15. <https://www.prnewswire.co.uk/news-releases/be-inspired-for-machine-vision-s-development-and-application-at-cioe-2020-825943731.html>
16. <https://ru.wikipedia.org/wiki/AT%26T>

17. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Cisco>
18. [https://ru.wikipedia.org/wiki/General\\_Electric](https://ru.wikipedia.org/wiki/General_Electric)
19. <https://ru.wikipedia.org/wiki/IBM>
20. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Intel>
21. <https://quote.rbc.ru/company/1054/>
22. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Atos>
23. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Robert\\_Bosch\\_GmbH](https://ru.wikipedia.org/wiki/Robert_Bosch_GmbH)
24. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Broadcom\\_Inc](https://ru.wikipedia.org/wiki/Broadcom_Inc).
25. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Infosys>
26. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Google\\_\(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Google_(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F))
27. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft>
28. <https://ru.wikipedia.org/wiki/SAP>
29. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Siemens>
30. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Honeywell>
31. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Zebra\\_Technologies](https://ru.wikipedia.org/wiki/Zebra_Technologies)
32. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZTE>
33. <http://www.elektropribor.spb.ru/o-predpriyatii/>
34. <http://www.istokmw.ru/>
35. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD\\_\(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD_(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F))
36. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0)
37. <http://www.ae.ru/>
38. [https://nti2035.ru/technology/competence\\_centers/miet.php](https://nti2035.ru/technology/competence_centers/miet.php)
39. <https://elara.ru/about/card/>

40. <http://www.gcs.ru/about/>
41. <http://zntc.ru/>
42. <https://elvees.ru/index.php?id=6>
43. <http://zavodkomponent.ru/about-us-2/>
44. <http://www.zproton.ru/>
45. <https://ancud.ru/company/about/>
46. <https://neurobotics.ru/>
47. <https://aoglonass.ru/ao-glonass/ao/>
48. <https://www.elveesneotek.ru/>
49. <https://biooss.ru/about/50010>
50. <https://www.aviaport.ru/directory/aviafirms/3093/>
51. <https://robodem.com/>
52. <https://fam-robotics.ru/ru/about>
53. <https://www.vocord.ru/company/>
54. [https://misis.ru/files/7072/Medvedeva\\_dis.pdf](https://misis.ru/files/7072/Medvedeva_dis.pdf)
55. <https://www.intuit.ru/studies/courses/590/446/lecture/9933?page=2>
56. <https://disser.spbu.ru/files/disser2/disser/6k8qnH3nbp.pdf>
57. [http://xn----7sbajajhyox3duj.xn--p1ai/images/data/zhurnal\\_vks/1-2017/118-130.pdf](http://xn----7sbajajhyox3duj.xn--p1ai/images/data/zhurnal_vks/1-2017/118-130.pdf)
58. <https://new2.intuit.ru/studies/courses/590/446/lecture/9924?page=1>
59. [https://www.secuteck.ru/hubfs/Digital/SS/SS\\_ADAPT/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BC\\_%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B84.0.pdf?hsLang=ru](https://www.secuteck.ru/hubfs/Digital/SS/SS_ADAPT/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%BC_%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B84.0.pdf?hsLang=ru)
60. <https://rg.ru/2020/04/28/rossijskie-dobyvaiushchie-predpriatiia-vnedriaiut-cifrovye-tehnologii.html>
61. Дж. Фрайден «Современные датчики. Справочник. Москва: Техносфера, 2005 -592с





КОМПЛЕКС ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
И ИМУЩЕСТВЕННО-ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ  
ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ



ДЕПАРТАМЕНТ ИНВЕСТИЦИОННОЙ  
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ  
ГОРОДА МОСКВЫ

**АПР**

АГЕНТСТВО  
ПРОМЫШЛЕННОГО  
РАЗВИТИЯ МОСКВЫ

Государственное бюджетное учреждение города Москвы  
«Агентство промышленного развития города Москвы» (ГБУ «АПР»)



123995, г. Москва, ул. 1905 года, д. 7, стр. 1



8 (495) 909-30-69



[apr@develop.mos.ru](mailto:apr@develop.mos.ru)



[apr.moscow](http://apr.moscow)