

Полупроводниковая микроэлектроника – 2025 г.

Часть 4. Рекордными темпами растут не только мировые инвестиции в полупроводники, но и цены на передовые технологии и память



Дмитрий БОДНАРЬ,
к.т.н., генеральный директор,
АО «Синтез Микроэлектроника»

Вследствие чрезвычайной важности полупроводниковой отрасли для всей экономики передовых стран и ее цифровизации мировые инвестиции в нее растут рекордными темпами и достигнут 1,5 трлн долл. до 2030 г. Мировые цены полупроводников разных типов демонстрируют разнонаправленность, но быстро растут на новые 2-нм технологии и память, спровоцированные дефицитом памяти НВМ, бумом ИИ и нежеланием трех главных мировых производителей запоминающих устройств бороться с их дефицитом. Однако риск лопающегося пузыря ИИ способен оказать разрушительное влияние не только на эти компании, но и на всю мировую отрасль. Расширение санкционных войн с Китаем под давлением США на Европу приводит к открытому противостоянию вокруг компании Nexperia с игнорированием прав собственности, неприемлемым для правового государства, и неизбежными последствиями. Рост международной напряженности и военных конфликтов создает повышенный спрос на электронику и оборонные технологии.

Мировые глобальные полупроводниковые инвестиции до 2030 г.

Глобальные расходы на полупроводниковые технологии, подпитываемые стратегическими инвестициями, с 2024 по 2030 гг., по прогнозам, превысят 1,5 трлн долл., что соответствует общему объему таких расходов за последние два десятилетия (рис. 1) [1]. Более 70% этих средств будет направлено на азиатские рынки. Размер этих инвестиций отражает центральную роль полупроводниковой промышленности в обеспечении технологического прогресса во многих секторах в условиях все более цифровой глобальной экономики. **Чем выше уровень экономического и технологического развития страны, тем более важную роль в ней играет собственная электронная промышленность.**

США и Китай занимают ведущие позиции в мировой полупроводниковой промышлен-

ности. Китай стремится к самообеспечению, чтобы компенсировать американские санкционные ограничения, в то время как США направляют огромный капитал в новые объекты для укрепления внутреннего сектора чипов.

В сегменте микросхем логики достижения в области ИИ и высоких технологий сделали логические чипы критически важными, и они получат наибольшую долю финансирования. США и Тайвань расширяют инвестиции в передовые технологии, тогда как Китай, испытывающий проблемы с закупкой оборудования для суперсовременных технологий, в основном фокусируется на увеличении производства по зрелым техпроцессам. Ожидается, что к 2030 г. на долю ускорителей ИИ придется около 50% от общего объема продаж микросхем для ЦОД; при этом произойдет переход от универсальных процессоров к специализированным ИС, предназначенным для задач машинного обучения.

Корея, вероятно, сохранит лидерство на рынке микросхем памяти благодаря значительным инвестициям в DRAM и флэш-память NAND. По мере того как память с высокой пропускной способностью (НВМ) становится все более необходимой для ИИ, корейские лидеры Samsung и SK Hynix увеличивают расходы, чтобы укрепить свое положение.

Сегменты дискретных полупроводников, датчиков и оптоэлектроники обычно менее технологически сложные, чем логика или память, что требует меньших капитальных затрат. Заметные расходы Китая в этот сектор могут рассматриваться как попытка смягчить ограничения на высокотехнологичное оборудование, сосредоточившись на секторах с относительно низкими барьерами на входе. Кроме того, в этом направлении Китай способен быть полностью независимым и самодостаточным как в технологиях, так и в оборудовании.

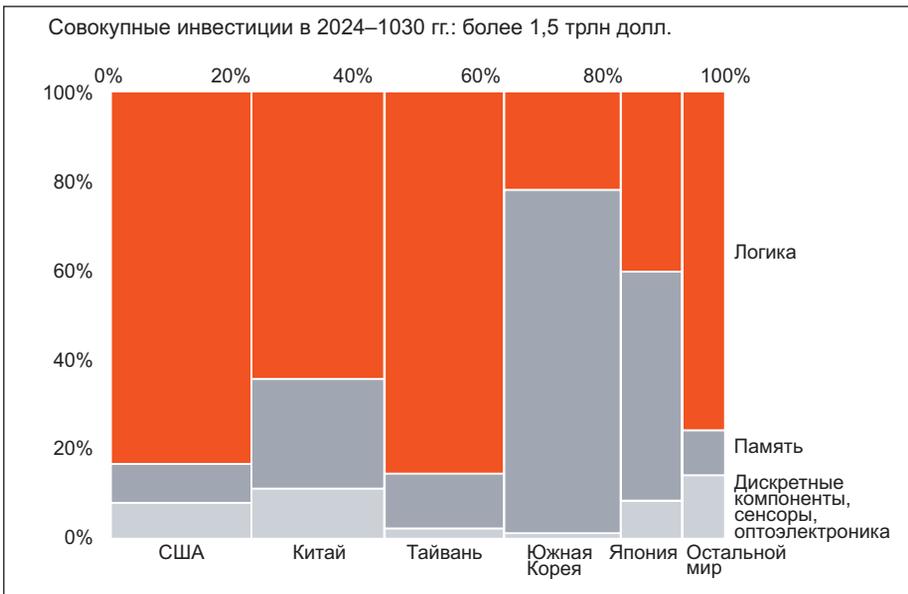


Рис. 1. Прогноз мировых инвестиций в полупроводниковые технологии в 2024–2030 гг.

Таблица. Сравнительная стоимость 300-мм пластин с чипами по технологиям 7–5–3–2–1,6–0,8 нм компании TSMC

Проектные нормы	Год запуска массового производства	Расчетная средняя стоимость пластины, долл. США	Увеличение стоимости при переходе между проектными нормами	Ключевые заказчики на момент запуска
7 нм	2018	~9350	–	Apple, AMD, Nvidia
5 нм	2020	~17000	~82%	Apple, AMD
3 нм	2022–2023	~20000	~18%	Apple
2 нм	2025	>30000	>50%	Apple, Nvidia, AMD, MediaTek
1,6 нм	2027	~45000	>50%	Nvidia
0,7–0,8 нм	2030	>100 000*	>50%	Apple

* Прогноз автора.

Электромобили и беспилотные автомобили являются вторым по значимости драйвером спроса в полупроводниковой промышленности. К 2030 г. на электромобили придется примерно 50% мировых продаж автомобилей, а доля беспилотных автомобилей 3-го уровня, как ожидается, превысит 10% от общего объема поставок. Эта трансформация автомобильной промышленности предъявляет множество требований к полупроводникам. Электромобилям требуются сложные электронные компоненты для управления питанием, включая устройства на основе SiC и GaN. Переход от двигателей внутреннего сгорания к электрическим силовым агрегатам фундаментально меняет состав полупроводников в транспортных средствах; при этом на силовые полупроводники может приходиться более 50% общей стоимости полупроводниковых компонентов электромобилей.

Возможности автономного вождения добавляют еще один уровень сложности, требуя передовых массивов датчиков, высокопроизводительных вычислительных платформ и систем связи в режиме реального времени. Транспортным средствам, приближающимся

к полной автономности, может потребоваться более 1000 полупроводниковых компонентов, в то время как в обычных автомобилях в настоящее время их насчитывается 200–300. Это увеличение требований к электронным компонентам распространяется на камеры, радарные системы, датчики лидаров и центральные процессоры, которые обобщают эти данные для принятия решений.

Разнонаправленные мировые цены на полупроводники

В 2025 г. проявилось несколько разнонаправленных факторов и причин, определяющих цены на полупроводниковую продукцию. Обычно на рынке кроме производственной себестоимости основными являются два фактора: наличие здоровой конкуренции и ускоренный рост в потребности продукции. В сферах с высокой конкуренцией цены снижаются, а при слабо растущем спросе остаются неизменными или следуют за инфляцией. В первом случае конкурентными примерами являются новые изделия на основе ШЗП, где лидируют и снижают цены китайские компании, а во втором слу-

чае – консервативные дискретные приборы, оптоэлектроника, сенсоры. При отсутствии конкуренции или резком росте потребности цены стремительно растут. Слабо конкурентными являются изделия по новым суперсовременным технологиям, где лидирует компания TSMC, а второй пример – резкий рост спроса на микросхемы памяти, в первую очередь на HBM, с общего согласия всего трех главных мировых производителей. Их текущие действия на фоне бума ИИ резко изменили рынок памяти, последствия которого окажутся крайне опасными.

Есть еще несколько причин, провоцирующих ускоренный рост цен полупроводниковой продукции по самым передовым технологиям. Главные из них:

- бурный рост инвестиций и капитальных затрат крупных гигантов в расширение производственных мощностей по передовым технологиям по всему миру;
- неудовлетворенный спрос на продукцию для ИИ, особенно для графических процессоров Nvidia и памяти HBM, использующих передовые технологии;
- астрономический рост стоимости разработки и освоения новых технологий, сложного оборудования и строительства новых фабрик;
- рост геополитической напряженности, создающей угрозу бизнесу и неопределенность в будущем;
- начало тарифных войн Дональда Трампа с увеличением тарифных ставок, которые переносятся на цены по импорту и экспорту.

Однако рост цен неравномерный и, в первую очередь, затрагивает продукцию по сложным передовым технологиям 5–3–2 нм, где конкуренция слабая, а капитальные затраты гигантские. На текущий момент в этом сегменте конкурируют только TSMC, Samsung и Intel. С 2026 г. TSMC приступает к масштабной корректировке цен на ближайшие годы и повышает цены на продукцию по техпроцессам менее 5 нм на 5–10% [2]. Цена пластины по техпроцессу 2 нм превысит 30 тыс. долл., что на 50% выше, чем для 3-нм процесса (см. табл.). По другой информации, цена пластины по разрабатываемому процессу 1,6 нм станет еще на 50% выше и составит космические 45 тыс. долл. [3]. Можно предположить, что цена за пластину по субнанометровым технологиям менее 1 нм станет шестизначной. На конференции по итоговой отчетности TSMC за 2025 г. финансовый директор компании не смог опровергнуть информацию о планируемом повышении цен на 20%, отделавшись только общими фразами. Представители TSMC отмечали, что техпроцесс N2 набирает популярность быстрее, чем N3 и N5, на сопоставимых фазах жизненного цикла. Это выразилось в том, что клиенты TSMC подготовили гораздо больше цифровых проектов с 2-нм изделиями в течение первых двух лет доступ-

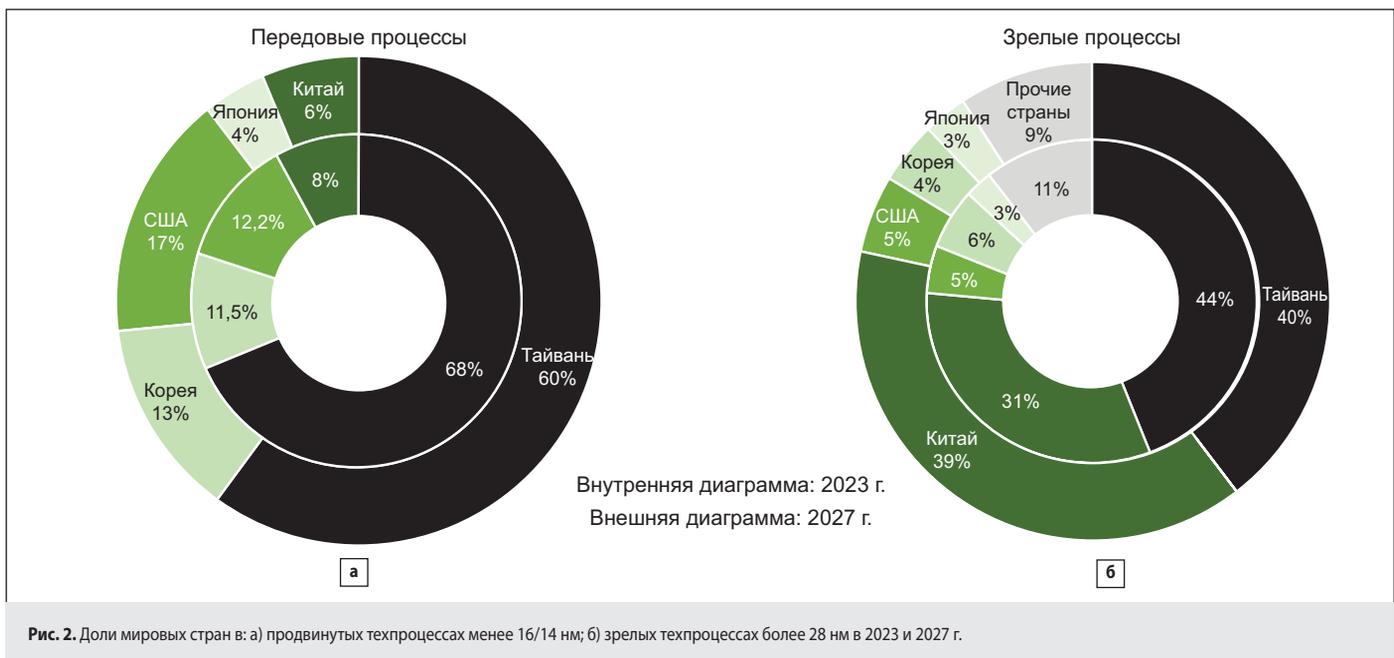


Рис. 2. Доли мировых стран в: а) продвинутых техпроцессах менее 16/14 нм; б) зрелых техпроцессах более 28 нм в 2023 и 2027 г.

ности техпроцесса, чем в случае с предыдущими техпроцессами.

И хотя TSMC декларирует снижение цен на продукцию по зрелым технологиям, очевидно, что это вызвано, в первую очередь, конкурентным ценовым давлением Китая, стремительно увеличивающего производственные мощности по ним и обвалившего цены. **Для зрелых техпроцессов свыше 28 нм, где конкуренция высокая, ценовая экспансия Китая приводит к снижению мировых цен, к возможному банкротству и поглощению более слабых игроков рынка.** Как сообщают тайваньские СМИ со ссылкой на китайские издания, крупнейший китайский производитель микросхем SMIC в начале 2025 г. снизил цены на производство 28-нм чипов на 40% – с 2500 до 1500 долл. за пластину. При этом цена SMIC вдвое ниже, чем у тайваньских производителей микросхем, и составляет 3000 долл. [4]. Сообщается, что SMIC снизила цены, чтобы получить больше заказов. Вероятно, что эта стратегия срабатывает и SMIC и другие китайские предприятия к концу года работают с полной загрузкой. SMIC в конце года повысила цены на контрактные услуги на 10% [5], но едва ли это обстоятельство существенно поможет конкурирующим тайваньским производителям.

Аналитики TrendForce сообщали, что в 2023 г. доля Тайваня в зрелых техпроцессах от 28 нм составляла 44%, а Китая – 31%. К 2027 г. Китай увеличит свою долю до 39% против 40% у Тайваня, и будет контролировать рынок зрелых техпроцессов (рис. 2) [6]. TSMC, которая понимает это лучше других, приняла решение к 2027 г. закрыть некоторые свои производства по зрелым техпроцессам на 200-мм пластинах и уже начала продавать оборудование этих линий [7]. Безусловно это не единственная причина, поскольку эффективность 300-мм произ-

водства по более современным технологиям чипов и сборки, на которые перейдет TSMC, гораздо выше. Большинство 8-дюймовых заводов TSMC сосредоточены в районе Синьчу, недалеко от завода Baoshan Fab 20, где находится производство пластин по 2-нм и A14-технологиям. Если эти площадки будут перепрофилированы для производства передовой сборки, эффективность логистики повысится в области передового производства, сборки и тестирования, что в еще большей мере сократит время выхода на массовое производство. **Однако мировой лидер контрактного производства закрывает именно те направления, где высокая конкуренция со стороны Китая,** как это было, в частности, с контрактным сервисом GaN-фаундри [8].

Samsung решила воспользоваться решением TSMC повысить цены и для привлечения клиентов снизила на треть цены на 2-нм техпроцесс [9]. Однако без повышения выхода годных до 60–70% эта мера может привести и к умножению убытков, особенно на предприятиях Samsung в США, и отказу уже подтвержденных клиентов. По последним неподтвержденным данным, все три компании к концу 2025 г. повысили выход годных на 2-нм процессе: у TSMC он составил 70–80%, у Intel – 60%, а у Samsung – 40% [10]. Intel по этому показателю уже опережает Samsung, а ее акции выросли вдвое за 2025 г. Однако если эта тактика снижения цены привлечет клиентов, южнокорейский гигант далее будет следовать за ценами TSMC в сторону повышения, тем более что 2-нм производство TSMC на 2026 г. уже полностью загружено заказами и компания предупредила клиентов, что не сможет выполнить все их заказы. У Intel в 2026 г. по этой технологии будут производиться, в основном, чипы для собственных процессоров Panther

Lake. Сообщается, что компании Qualcomm и MediaTek недовольны высокими ценами 2-нм производства TSMC и оценивают передачу заказов на выпуск чипов в компанию Samsung [11]. Компания Apple в 2025–2026 гг. уступила роль главного за все последние 10 лет заказчика TSMC компании Nvidia и не имеет безоговорочных преимуществ в 2-нм заказах, в связи с чем она будет также использовать альтернативную технологию A18 от Intel.

Наименее подвержены резким изменениям цены и рыночный спрос дискретных полупроводников, сенсоров, оптоэлектроники, подавляющее большинство которых производится по давно апробированным технологиям, а потребности следуют за консервативной конъюнктурой рынка.

Автор [12] отмечал жесткое ценовое давление Китая на продукцию широкозонных полупроводников, которое привело к обвалу мировых цен, банкротству и изменению стратегии мировых лидеров этого сегмента продукции.

Цены на микросхемы памяти взрывают мировой электронный рынок

Все то, что происходит во второй половине 2025 г. с ценами и рынком памяти, можно описать одним выражением – приближающийся коллапс, последствия которого волнами расходятся во все стороны. Дефицит памяти превратился из проблемы на уровне компонентов в макроэкономический риск, затрагивающий всю электронную отрасль и несколько сопутствующих отраслей.

Наличие неудовлетворенной потребности в микросхемах памяти приводит к тому, что тройка мировых лидеров Samsung, SK Hynix, Micron путем согласованного снижения про-

изводства DRAM добивается роста мировых цен, а неудовлетворенный спрос на память HBM также толкает цены вверх.

Таким образом, в настоящее время все факторы форсируют повышение цен памяти. В условиях стремительного роста потребностей в DRAM со стороны ЦОД цены на память резко выросли, что производителям оказалось выгодно. Производственные мощности Samsung и SK Hynix в настоящее время загружены на 100%, и основной упор производители делают на более дорогую оперативную память для ИИ, из-за чего страдает потребительский сегмент. Схлопывание рынка затрагивает практически все типы памяти, начиная от флэш-чипов, используемых в USB-накопителях и смартфонах, и заканчивая памятью HBM, которая применяется в ЦОД для ИИ. Магазины электроники в Японии даже начали ограничивать количество жестких дисков, которые могут купить покупатели. В связи с дефицитом микросхем памяти компания TrendForce снизила свой прогноз мирового производства смартфонов и ноутбуков на 2026 г. [13]. Согласно этому прогнозу, выпуск смартфонов сократится на 2% в годовом исчислении по сравнению с предыдущей оценкой роста на 0,1%. В то же время ожидается сокращение производства ноутбуков на 2,4% по сравнению с предыдущим прогнозом в 1,7%. Дальнейшее снижение прогнозов возможно в случае усиления дисбаланса спроса и предложения на рынке памяти или более значительного, чем ожидалось, роста розничных цен. В последнем прогнозе TrendForce ожидает, что снижение производства усилится в еще большей мере и достигнет 5,4%, причем эта величина не является предельной, и в прогноз заложена вероятность сокращения объемов поставок на 10,1% [14].

Производители чипов не собираются бороться с дефицитом памяти и ростом цен на них. Их основная цель в нынешних реалиях – это деньги, которые они могут заработать на ажиотажном спросе со стороны индустрии ИИ, а вовсе не стремление побороть дефицит на потребительском рынке. Наоборот, они готовы намеренно поддерживать его как можно дольше, что очень напоминает позицию стран ОПЕК по добыче нефти. В нынешних реалиях SK Hynix стремится заключать исключительно краткосрочные контракты на поставку чипов памяти, чтобы лишить клиентов долгосрочной стабильности цен на память.

«Вместо быстрого расширения производственных мощностей мы будем следовать стратегии поддержания долгосрочной прибыльности. Мы минимизируем риск переизбытка предложения с помощью стратегии капитальных затрат (CAPEX), которая уравнивает спрос со стороны клиентов и цены», – заявила Samsung [15].

Аналогично, SK Hynix заявила, что ее стратегия заключается в осторожном инвести-

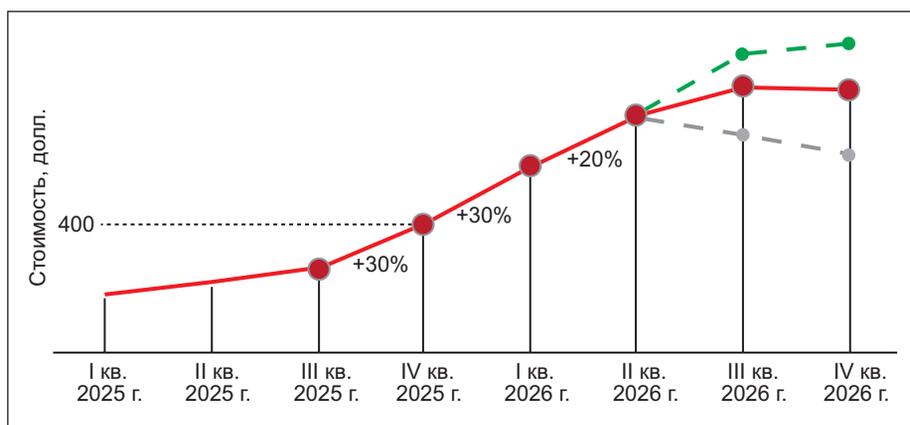


Рис. 3. Прогноз роста цен на модули памяти DDR5 64G в 2025–2026 гг.

рованию в расширение производства, чтобы не допустить перепроизводства. Компания сообщила, что дефицит памяти продлится до конца 2027 г. В октябре SK Hynix заявила, что все ее чипы на 2026 г. распроданы [16].

Micron Technology объявила о решении закрыть потребительский сегмент своего бизнеса, прекратить выпуск оперативной памяти и твердотельных накопителей под брендом Crucial [17].

Как отмечается, впервые за последние семь лет выпуск памяти станет более доходным бизнесом по сравнению с контрактным производством чипов. Если TSMC по итогам IV кв. может ограничиться нормой прибыли на уровне 60%, то у Samsung и SK Hynix этот показатель может достичь 63% и 67%, соответственно [18].

Таким образом, тройка производителей памяти, контролирующая около 70% ее выпуска, не собирается увеличивать производство, а намерена всеми способами поддерживать дефицит и рост цен. Это значит, что рост цен на потребительские товары от смартфонов до компьютеров в 2026 г. будет значительным.

Операционный директор Dell Джефф Кларк (Jeff Clarke) сообщил, что никогда еще не видел столь стремительного роста затрат в сфере производства компьютеров [19]. В начале декабря Dell объявила о повышении цен ПК на 15–20%, а Lenovo начала извещать клиентов о повышении цен с января 2026 г. [20].

Конкурирующая HP Inc. считает наиболее сложным вторую половину 2026 г., поскольку к тому времени накопленные ею запасы памяти и других комплектующих истощатся, а новые придется закупать по гораздо более высоким ценам. Следовательно, HP Inc. не избежать повышения цен на свою продукцию. В настоящее время именно память формирует 15–18% стоимости типового ПК.

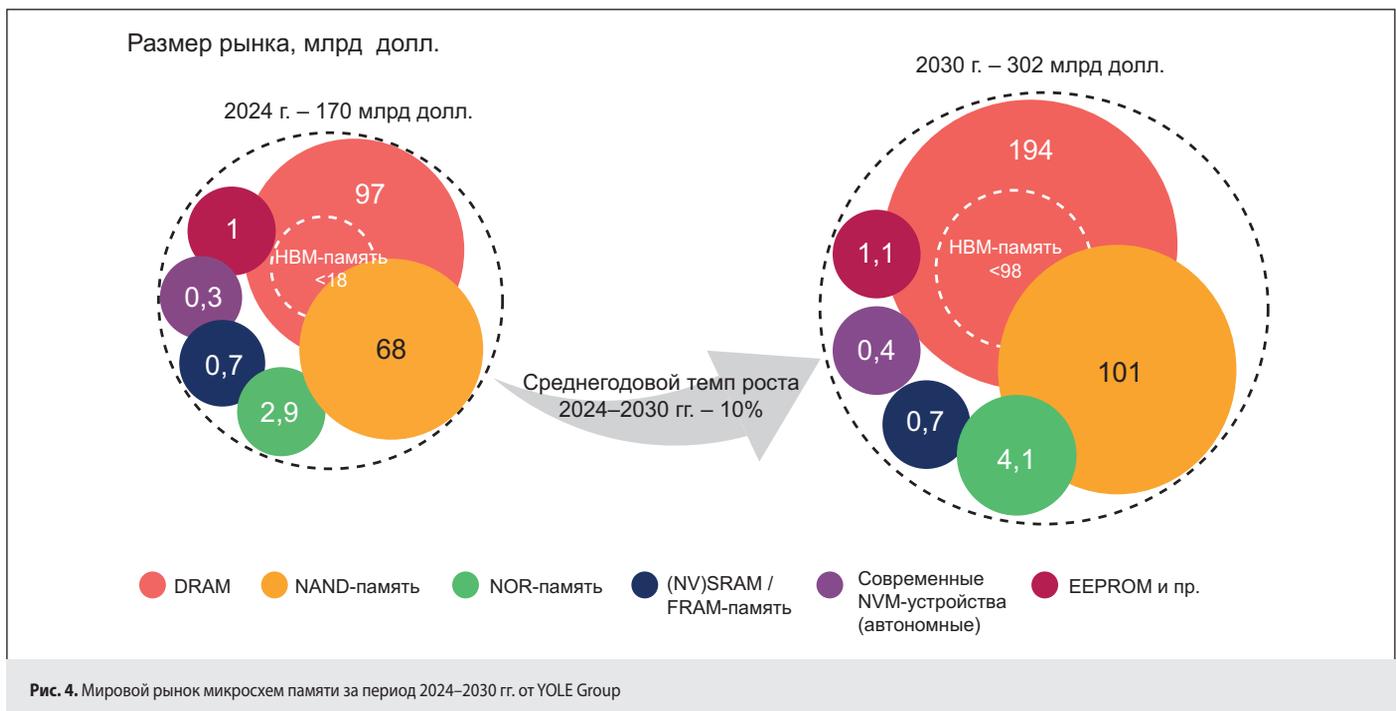
Представители китайской SMIC предупредили, что дефицит памяти ограничит в 2026 г. объемы выпуска автомобильной и потребительской электроники, включая смартфоны. Xiaomi тоже предупредила, что

будет вынуждена в следующем году поднять цены на мобильные устройства.

По прогнозу компании Counterpoint Research, средняя продажная цена смартфонов может вырасти на 6,9% в годовом исчислении в 2026 г. по сравнению с предыдущим прогнозом роста на 3,6%. Для недорогих смартфонов стоимость комплектующих выросла на 20–30% с начала года, а в сегменте смартфонов среднего и высокого класса стоимость материалов выросла на 10–15%. **В этих условиях в наилучшем положении оказывается производитель памяти и смартфонов компания Samsung, получающая большую выгоду по цене обоих производимых ею устройств.** Контрактные цены на память DDR4 и особенно DDR5, используемых в рабочих станциях, игровых ПК, САПР или системах искусственного интеллекта, росли в течение всего 2025 г. По прогнозу компании Counterpoint, в 2026 г. рост цен на модули памяти будет продолжаться (рис. 3) [21]. Производители смартфонов также предупреждают о снижении объема оперативной памяти DRAM в устройствах до нижнего уровня стандартов. В первую очередь, это затронет бюджетные модели.

Клаус Аасхольм (Claus Aasholm), основатель Semiconductor Business Intelligence, ранее предупреждал об опасности схлопывания пузыря ИИ и компаний, являющихся основными бенефициарами его роста [22]. Теперь он утверждает, что рынок памяти не корректируется, как это было в предыдущие десятилетия, а реорганизуется [23]. По его мнению, давнее равновесие между спросом, предложением и ценообразованием рассеялось. Десятилетиями рынки памяти корректировались самостоятельно. Когда цены на DRAM резко росли, производители устройств откладывали обновления, а цены снижались. Эластичность спроса удерживала спрос и предложение под контролем. Такой динамики больше нет.

Исторические кривые ценообразования больше не являются предсказательными. Для электронной промышленности, по мнению Аасхольма, это полностью меняет си-



туацию. Ожидание, пока память «вернется» вниз, теперь – спекуляция, а не стратегия, основанная на циклических процессах.

Цены растут без роста предложения. Так не ведут себя эластичные рынки. Так выглядит структурное изменение, когда спрос не может быть отложен, а предложение не расширяется для его удовлетворения.

По данным TrendForce, с февраля цены в некоторых сегментах выросли более чем в два раза [24]. По прогнозу YOLE Group, суммарный мировой рынок микросхем памяти будет расти со среднегодовыми темпами 10% и достигнет 302 млрд долл. к 2030 г. (рис. 4) [25]. DRAM продолжает лидировать как по масштабу, так и по потенциалу роста, а центральным элементом этой трансформации становится память с высокой пропускной способностью – HBM. Прогнозируется, что доля HBM на рынке памяти DRAM вырастет с 18% в 2024 г. до более чем 50% к 2030 г. и до 98 млрд долл., что соответствует среднегодовому темпу роста в 33%. Упомянутая выше компания Counterpoint прогнозирует, что мировой рынок памяти вырастет с 225 млрд долл. в 2025 г. примерно до 420 млрд долл. в 2026 г. Это значит, что размер рынка почти удвоится всего за один год [26].

Стратегии тройки игроков Samsung, SK Hynix и Micron по развитию новых микросхем памяти различаются. Текущие изделия HBM3 все три компании производят по существующей технологии DRAM, но уже следующую генерацию HBM4 для снижения потребления и повышения энергоэффективности потребуется производить по технологии 3–4 нм. И это обстоятельство будет однозначно способствовать повышению цен. В то же время стратегии перехода к новой

технологии у компаний будут сильно различаться.

SK Hynix планирует начать выпуск кристаллов текущей генерации 1b DRAM (10 нм), которые будут использоваться в стеках памяти HBM4, в феврале 2026 г. на своем заводе M15X. Новые генерации HBM4 по техпроцессу 3 нм SK Hynix станут размещать в TSMC. Затраты на чипы HBM4 могут составить до 20% от общих затрат SK Hynix [27], что может снизить конкурентность в сравнении с Samsung, которая использует свои линии для производства чипов HBM4. Кроме того, у Samsung могут появиться дополнительные преимущества при дальнейшей модернизации HBM4 и переходе на 2-нм технологию. Но это при условии, что технические характеристики чипов и выход годных у Samsung будут как минимум не хуже.

С чипами HBM4 компании Micron все еще сложнее. Micron планирует начать производство чипов HBM4 с использованием процессов DRAM с 2026 г., а переход на генерацию HBM4e с помощью технологии TSMC – в интервал между 2027 и 2028 гг. Особо следует отметить, что главный заказчик и потребитель чипов HBM компания Nvidia планирует разработку собственного чипа HBM4e с началом производства в 2027 г. по 3-нм техпроцессу в TSMC [28]. И это должно было бы усилить конкуренцию между компаниями. Но то, что происходит в настоящее время с рынком и ценами на все типы памяти, существенно меняет текущий и перспективный рыночный ландшафт памяти.

Таким образом, в ближайшие три года можно ожидать очевидный рост цен на рынке микросхем памяти HBM, если спрос не будет удовлетворен. Можно также ожидать появления памяти совершенно новых типов

для ИИ, способной изменить продуктовый ландшафт. Производители памяти планируют как можно дольше поддерживать устройства, ориентированные на использование памяти, путем разработки высокопроизводительных изделий, специально созданных для ИИ. Одним из примеров является обработка данных в самой памяти (PIM), перенося на нее часть вычислительной нагрузки, которая традиционно выполняется графическими процессорами. Ожидается выход на рынок таких технологий, как DRAM с вертикальными канальными транзисторами (VCT) и 3D DRAM, которые повышают плотность данных за счет хранения большего объема информации на меньшей площади [18]. Сообщается также, что Intel и SoftBank при участии компаний Fujitsu и TSMC разрабатывают более дешевую альтернативу скоростной памяти HBM [29]. По сравнению с HBM, память нового типа увеличит объем в два–три раза при снижении энергопотребления в два раза. Стоимость такой памяти при этом должна быть ниже. Еще одним перспективным типом является энергонезависимая память HBF (High-Bandwidth Flash), емкость которой в 10 раз больше, чем у HBM. Выпуск HBF на мощностях Samsung и SK Hynix может начаться в 2027–2028 гг. [30].

И только эти обстоятельства вместе с насыщением спроса памяти HBM для ИИ могут остановить галопирующий рост цен. Однако до 2028 г. рассчитывать на это едва ли придется. Пока что рост неудовлетворенной потребности в полупроводниках для ИИ и в микросхемах памяти будет разгонять инфляционные ожидания во всех сегментах мировой отрасли и связанных с ней смежных отраслей.

Большим потрясением для рынка полупроводников всех типов может стать лопающийся пузырь ИИ, для чего имеются реальные основания. Он способен создать кризис и обвалить цены на всю продукцию, а не только ту, которая применяется для ИИ. Производители микросхем памяти могут стать первыми в рядах пострадавших от кризиса, а сам провал будет гораздо более глубоким и продолжительным, чем во всех предыдущих циклических падениях. Похоже, пока производители об этом не думают: главное для них – без дополнительных затрат получить большой доход от текущего спроса. Даже руководство мирового лидера TSMC, выручка которого по продукции для ИИ по итогам 2025 г. составила 58% от общей рекордной выручки в 122 млрд долл., «очень нервничает» из-за ИИ-пузыря, считая, что ошибка с инвестициями в ИИ «станет для TSMC катастрофой».

Захват компании Nexperia как пример правового беспредела в правовом государстве

В течение последних 10 лет Китай осуществлял экспансию по всему миру – в Африке, Австралии и в других регионах – по приобретению вначале разных источников и компаний по добыче сырья, применяемого во многих отраслях промышленности, включая полупроводниковую. Затем Китай занялся приобретением высокотехнологичных компаний. До начала противостояния между США и Китаем передовые страны на эти действия Поднебесной смотрели без опасений. Все стало меняться, когда началось ухудшение отношений и введение санкций против Китая. Спираль взаимного ужесточения санкций стала раскручиваться с новой силой, однако появились и совершенно новые последствия не из США, а из Европы. Хотя именно США выступили источником последовавших крайне сомнительных с правовой точки зрения решений. Правительство Нидерландов взяло под контроль китайского производителя полупроводников Nexperia, базирующегося в Нидерландах, применив редко используемый закон о чрезвычайном положении. Оно отстранило от управления назначенное собственником руководство компании и назначило своих временных управляющих [31]. Но похоже, что продуманного до конца плана действий у властей Нидерландов не было.

Компания Nexperia, выделенная из Philips и приобретенная в 2018 г. китайской компанией Wingtech через ее дочернюю компанию Yucheng Holding [32], является ключевым европейским поставщиком микросхем и дискретных полупроводников, которые незаменимы для транспортных средств и промышленного оборудования. В 2024 г. США расширили экспортные ограничения, затронув Wingtech и ее аффилированные

компании, и стали усиливать давление на Нидерланды относительно Nexperia. До этого еще более сильное давление США оказывали на правительство Нидерландов в связи с поставками сканеров компании ASML в Китай.

С Nexperia в европейской юрисдикции и прежде были проблемы. В 2022 г. Великобритания потребовала от Nexperia по соображениям национальной безопасности вернуть обратно ранее купленную ею фабрику Newport Wafer Fab – по сути, единственного крупного производителя чипов в Великобритании [33]. Но тогда хотя бы были соблюдены правовые принципы, и у властей Великобритании было право одобрить или запретить продажу, чем оно и воспользовалось, а с момента покупки прошло менее года. В конечном итоге, правительство одобрило продажу Newport Wafer Fab компании Vishay.

В нидерландской истории с даты покупки прошло семь лет, а власти страны решили не национализировать или выкупить компанию у собственников, а захватить ее. И хотя затем управление Nexperia временно вернули собственникам, история еще не закончена, а отношения китайских и европейских предприятий компании так и не вернулись к первоначальным и фактически заморожены. Окончательное решение должен будет вынести суд между Wingtech и правительством Нидерландов. Wingtech намерена через суд получить от Нидерландов 8 млрд долл. Однако китайская Nexperia активно ищет поставщика чипов в Китае для замены поставки из Европы и уже привлекла для этого трех китайских производителей.

В случае с этим захватом у властей Нидерландов не было шансов даже на частичный успех по нескольким причинам.

1. Предприятия компании расположены не только в Нидерландах, но и в нескольких странах Европы и Китае. Резкая реакция Китая была прогнозируема, и она последовала.
2. Логистические и производственные цепочки между предприятиями Nexperia сильно переплетены и интегрированы. Например, сборка чипов выполнялась в Китае, куда их направляли из Европы, и отказ китайских заводов автоматически приводил к остановке европейских предприятий, что фактически и произошло.
3. Сложившаяся ситуация не могла не отразиться на большом количестве клиентов Nexperia, особенно в автомобильной промышленности Европы, США и Китая. Их конвейеры отреагировали еще до того, как произошли задержки с поставками.

Этот конфликт привел к тому, что клиенты стали закупать пластины с чипами у европейской Nexperia и самостоятельно отправлять их на сборку в китайскую Nexperia China, чтобы не останавливать автомобильные конвейеры. К настоящему времени объ-

емы производства Nexperia составляют менее половины от объемов до начала противостояния.

Вероятно, власти Нидерландов это отчетливо понимали, но, чтобы не вызвать недовольства США, должны были как-то действовать. Эти действия оказались неудачными и привели к появлению многих юридических и политических вопросов.

Решение Нидерландов является чрезвычайным и создает очень опасный прецедент, когда при наличии сомнительных оснований правительство захватывает эффективную иностранную компанию, отстраняет ее руководство и вводит ограничения на ее работу, даже если оно называет это временным решением. Эта ситуация является еще одним частным эпизодом утвердившейся в последние десятилетия в международных отношениях практики превалирования права силы над силой права. Выгоду получает та сторона, которая заведомо сильнее другой. Однако если более сильная или равноценная сторона (как в этом случае) посчитает себя несправедливо оскорбленной, то ответ может быть эскалационным и опасным для всего мира.

Последствия этого юридически крайне сомнительного решения Нидерландов в отношении Nexperia могут быть далеко идущими и означать, что права частной собственности перестают быть основополагающими даже в странах, считающихся правовыми. Подобные решения могут дальше тиражироваться в других европейских странах и в США. Легко предположить, что Китай может применить симметричные решения на своей территории в отношении иностранных компаний недружественных стран, особенно США. Ранее 10 и даже пять лет назад это было бы невозможным, так как Китай не стал бы подрывать фундамент своего экономического чуда, которым являются зарубежные инвестиции. Однако в настоящее время в условиях широкомасштабных ограничений со стороны США и ставки Китая на самообеспечение такой шаг не кажется невероятным, а в условиях возможного открытого противостояния и конфликта вокруг Тайваня с участием США он неминуем. Такой шаг может взорвать и без того напряженный от санкционных и тарифных войн рынок. Этот, казалось бы, локальный европейский конфликт способен перерасти в системную мировую проблему без правил и законов.

Экстренное вмешательство правительства Нидерландов в деятельность компании Nexperia, которое многие интерпретируют как беспрецедентное утверждение государственной власти над принадлежащей иностранцам стратегически важной компанией по производству микросхем вызвало новую дискуссию в ЕС [34]. Насколько далеко должны заходить правительства для защиты активов в полупроводниковой отрасли? И может ли Европа защитить свой суверенитет,

не препятствуя тем самым инвестициям, которые обеспечивают конкурентоспособность ее полупроводниковой экосистемы?

Государства-члены ЕС и Европы традиционно значительно различаются по степени тесного сотрудничества с отечественной промышленностью. Франция исторически поддерживает тесную неформальную координацию с ключевыми фирмами, тогда как Нидерланды и Великобритания держатся на большей дистанции. Германия находится где-то посередине между ними. Франция привыкла к вмешательству, а голландская модель, основанная на открытости и ненавязчивом взаимодействии между правительством и компаниями, побуждает поглощение Nexperia считаться аномалией. Италия в большей степени разделяет готовность Франции к прямому вмешательству, когда на карту поставлены стратегические сектора.

Дело Nexperia явно является частью более масштабного изменения, а не разовой реакцией. Европа уже несколько лет движется к геоэкономическому повороту – миру, где торговая и инвестиционная политика тесно переплетены с проблемами безопасности и геополитическим соперничеством. Этот сдвиг начался примерно в 2020 г. и только ускорился после пандемии и углубления американо-китайской конкуренции.

Более тесные связи между компаниями и государством являются результатом растущего числа инструментов, которые либо предоставляют стимулы в форме промышленной политики, либо ограничивают свободу передвижения фирм или других частных предприятий.

Проверка прямых иностранных инвестиций (ПИИ), которая в настоящее время осуществляется почти в каждой стране ЕС, призвана предоставить правительствам структурированный способ оценки иностранных приобретений. Однако безопасность полупроводниковой промышленности не может полагаться только на проверку. Проверка инвестиций может быть «слишком медленной и слишком жесткой» в высокотехнологичных секторах. Технологии развиваются быстрее, чем системы, предназначенные для их проверки.

Большинство национальных законов о проверке не распространяется на проекты «с нуля» даже несмотря на то, что новый завод, построенный за рубежом, может впоследствии стать стратегически важным объектом. Нидерланды и Германия вообще не проводят проверку инвестиций в новые предприятия, в отличие от Швеции и некоторых других стран.

Многие европейские страны ввели режимы проверки только в 2023 г., а многие критически важные активы были приобретены задолго до появления таких проверок. Без экспроприации вернуться к исходному положению дел невозможно. Проверка ПИИ по-

может в будущем, но она не сможет решить проблемы, связанные с унаследованной собственностью.

Именно это и сделало Nexperia столь политически взрывоопасной компанией: стратегически важный завод по производству полупроводников уже принадлежал китайской материнской компании, и не было ясно, как восстановить оперативный контроль, не прибегнув к экстремному поглощению, считают многие в Европе.

В настоящее время несколько государств-членов ЕС изучают механизмы, выходящие за рамки простого контроля и переходящие в прямое управление. Франция уже использует «золотые акции» и чрезвычайную национализацию – инструменты, позволяющие временно контролировать компании, не нарушая при этом права инвесторов.

Еще одним примером сложности рассматриваемой проблемы является то, что небольшой поставщик в Нидерландах может иметь решающее значение для французского оборонного подрядчика, но голландское законодательство может исключить эту зависимость в интересах иностранных организаций, занимающихся вопросами безопасности. В результате создается лоскутное одеяло, которое чревато неэффективностью, соблюдением чрезмерных требований и пробелами в реальной безопасности.

Все европейские страны сталкиваются с одной и той же фундаментальной дилеммой: как защитить суверенитет, не подрывая при этом инвестиции, поддерживающие инновации. Поглощение компании Nexperia было драматичным, но в то же время символическим – знаком того, что европейский режим защиты полупроводниковых компонентов выходит за рамки требований об уведомлении и переходит к полномочиям оперативного вмешательства. Остается неясным, насколько далеко готовы зайти государства-члены ЕС и сможет ли Европа координировать эти инструменты, не раскалывая единый рынок и не препятствуя инвестициям. Европа и без того испытывает проблемы с привлечением частных инвестиций, и этот конфликт только усложнит их дальнейшее привлечение.

Единственная ясность заключается в том, что европейский арсенал мер по обеспечению безопасности производства микросхем расширяется, и полупроводниковая промышленность должна адаптироваться к миру, где политика, геополитика и технологии теперь неразделимы.

Оборонные технологии, в наибольшей мере стимулировавшие спрос на электронику в 2025 г.

Автор статьи почти полностью сохранил опубликованный в [35] взгляд европейских специалистов на зависящие от электроники

и становящиеся все более «умными» оружие и оборонные технологии.

Современные системы обороны неотделимы от электроники. В 2025 г. спрос на компоненты, проектирование печатных плат, встраиваемые системы и программное обеспечение стимулировали не отдельные платформы, а целые технологические экосистемы. *Электроника больше не является подсистемой. Это структурная основа – кровотока и темп современной обороны. В 2025 г. электроника стала не дополнением к обороне, а ее структурной осью, определяющей ритм развития и направление роста оборонной отрасли.* Семь основных оборонных технологий и систем создали наибольший спрос на электронику. Рассмотрим их по отдельности.

1. Радары AESA и датчики нового поколения

Радарная технология в наиболее полной мере свидетельствует о том, насколько глубоко современные системы обороны зависят от электроники. Отрасль решительно перешла от традиционных архитектур к активным электронно-сканируемым массивам. На практике это тысячи элементов передачи и приема, миниатюрные радиочастотные модули, современные схемы питания и управления, а также программное обеспечение, способное синхронизировать работу всех этих подсистем в реальном времени. Во многих программах модернизации AESA стала стандартом, напрямую увеличив спрос на устройства из нитрида галлия, многослойные управляемые импедансные платы и передовые решения для обработки сигналов.

Для поставщиков электроники радар больше не является «высокочастотным приемником»: это интегрированная системная платформа. С одной стороны, это специализированные полупроводники, работающие на высоких частотах и высокой мощности. С другой – печатные платы с высокой плотностью компонентов и строгими требованиями к целостности сигнала. Любое улучшение в электронной конструкции напрямую увеличивает дальность обнаружения, точность отслеживания или устойчивость к помехам. К 2025 г. радар стал одной из ключевых технологий, ускоряющих развитие оборонной электроники.

2. Система C4ISR и тактические сети

Современные вооруженные силы больше не функционируют как изолированные сферы – суша, море, воздух, а сливаются в единую информационную экосистему. В 2025 г. интеграция между этими доменами стала одной из самых существенных технологических тенденций, и системы C4ISR оказались в центре внимания. Они сочетают в себе командование и управление, защищенную связь, обработку компьютеров и ситуационную осведомленность в реальном времени.

Для электроники это означает быструю обработку данных, безопасные архитектуры и прогнозируемую производительность даже в стрессовых условиях.

Заметным изменением в 2025 г. стало широкое внедрение тактических сетей в реальном времени. Для поддержания стабильности системы требуют современных радиочастотных модулей, защищенных устройств шифрования, сигнальных процессоров и надежных встроенных компьютеров, способных работать в суровых условиях. Они должны обеспечивать высокую пропускную способность, низкую задержку и высокую устойчивость к помехам – сочетание, которое значительно повышает планку для электронного оборудования.

Для электронной промышленности в 2025 г. C4ISR стал одним из самых быстрорастущих и требовательных сегментов. Он объединяет радиосвязь, современные IP-сети, встроенную обработку данных, программное обеспечение в реальном времени и все чаще – ИИ, фильтрующий данные до того, как они поступят к операторам. В этом сегменте электроника определяет эволюцию целых систем.

3. Боевые дроны, системы разведки и противодействия дронам

Если радар и C4ISR определяют архитектуру современной обороны, то дроны стали ее самым динамичным элементом. В 2025 г. беспилотные платформы, начиная с легких дронов ISR и заканчивая блуждающими боеприпасами и высокоэффективными тактическими системами, были оснащены электронной. Датчики, бортовые вычисления, радиочастотная связь и управление питанием определяют способность дрона видеть, слышать, ориентироваться, классифицировать цели и работать в неблагоприятных условиях.

Самым быстрорастущим стал сегмент систем разведки, наблюдения и рекогносцировки (ISR), оснащенных сложными мультиспектральными датчиками: дневными и тепловизионными камерами, миниатюрными радарными, акустическими системами и оптоэлектронными полезными нагрузками. Каждый дополнительный датчик создает данные, которые необходимо обрабатывать в реальном времени, что требует эффективных встроенных процессоров, модулей связи с высокой пропускной способностью и передовых решений по стабилизации и управлению питанием. Дроны фактически стали воздушными вычислительными платформами – чем лучше электроника, тем сложнее профиль миссии.

То же самое относится к системам противодействия дронам. Обнаружение малых целей на малой высоте требует короткодействующих радиолокационных данных, радиочастотного датчика, триангуляции сигналов и продвинутых алгоритмов анализа спектра. Нейтрализация и глушение зависят от мощных радиочастотных передатчиков, точного

управления лучом и логики принятия решений в реальном времени.

С точки зрения электроники, дроны и системы противодействия дронам – одни из самых востребованных сегментов оборонного рынка. Эти компактные, устойчивые и высокоинтегрированные решения определяют технологическое преимущество на расстояниях, измеряемых не сотнями километров, а иногда сотнями метров.

4. Радиоэлектронная борьба (РЭБ) и устойчивость к помехам

2025 г. ясно показал, что поле боя, в первую очередь, электромагнитное. Помехи во многих театрах военных действий были настолько сильными, что на традиционные навигационные и коммуникационные системы полагаться было нельзя. Электронная борьба перестала быть нишей и стала повседневной задачей для проектирования.

Системы РЭБ используют широкополосную радиоэлектронику, мощные блоки обработки сигналов и быстрые АЦП, предназначенные для обнаружения крайне слабых сигналов. Алгоритмы реального времени необходимы для различения сигнала в шуме и адаптации к резким изменениям частоты. РЭБ требует прецизионно настроенных фильтров, высококлассных усилителей, быстрых ПЛИС и компонентов, разработанных для устойчивости к перегрузке и спектральной целостности.

Стойкость к помехам больше не ограничивается только РЭБ-платформами. Радары короткого радиуса, радиостанции, тактические терминалы и другие системы требуются для работы в сильно конкурентных электромагнитных условиях. Это обеспечивает расширенное экранирование, точную компоновку печатных плат, фильтрацию и дополнительные модули снижения помех.

К 2025 г. системы РЭБ стали основным драйвером высокопроизводительной оборонной электроники, требуя глубоких знаний в области радиочастотной инженерии, мощных цифровых архитектур и точной интеграции.

5. Надежные встроенные вычисления и периферийный ИИ

Современные системы обороны работают в условиях, где поток информации никогда не прекращается. Датчики непрерывно собирают данные, каналы связи осуществляют прямые трансляции, а тактические сети требуют немедленной реакции. В результате надежные встроенные компьютеры – не машины для ЦОД, а вычислительные платформы на кораблях, транспортных средствах, ракетных установках, радарных и мобильных командных единицах – стали ядром проектирования систем.

2025 г. подтвердил важную тенденцию: на периферии обработка данных происходит в большем объеме. Вместо передачи необра-

ботанных данных системы анализируют их локально, классифицируют и отправляют только то, что важно. Такой подход экономит пропускную способность, ускоряет принятие решений и повышает устойчивость к помехам.

Операционные системы реального времени, защищенная прошивка, криптография и помехоустойчивая память стали стандартными требованиями. В 2025 г. надежные вычислительные технологии и периферийный ИИ стали одними из главных факторов спроса на электронику наряду с радарными, C4ISR и системами противодействия дронам.

6. Высокоточное вооружение и электроника наведения

Точность стала структурным принципом современных систем обороны. То, что раньше, в основном, зависело от аэродинамики и механики, теперь в большой мере зависит от электроники: датчиков, инерциальных блоков, навигационных модулей, встроенных процессоров и программного обеспечения управления. В 2025 г. почти все программы модернизации включали в себя высокоточное управляемое вооружение, что увеличило спрос на высокоспециализированные электронные компоненты.

Электроника наведения требует абсолютной надежности. Инерциальные датчики (IMU), гироскопы, акселерометры, усиленные GNSS-модули и усовершенствованные алгоритмы синтеза сенсоров создают стабильную навигационную картину при экстремальных нагрузках. Процессоры сигналов и ПЛИС выполняют коррекцию траектории за миллисекунды, часто под воздействием сильных вибраций, перепадов температуры и сил ускорения.

В 2025 г. прецизионное оружие стало одним из самых стабильных и стратегически значимых сегментов оборонной электроники, интегрируя зондирование, навигацию, встраиваемое управление и программное обеспечение в реальном времени в тесно связанные архитектуры.

7. Искусственный интеллект и автоматизация систем

В 2025 г. искусственный интеллект перестал быть будущим обороны – он стал рутинной. ИИ не заменяет электронику, но усиливает ее, увеличивая потребность в вычислительной мощности, пропускной способности памяти, быстрых интерфейсах и программном обеспечении в реальном времени. Наибольшее влияние проявилось в анализе данных – радара, систем ISR, C4ISR и противодронных систем. ИИ фильтровал шум, распознавал объекты, скрытые угрозы, оптимизировал передачу данных и прогнозировал траектории. Он стал интерфейсом между датчиками и операторами, обеспечивая более четкую операционную картину.

Аппаратная автоматизация также ускорилась. ПЛИС и периферийные процессоры

взяли на себя функции, ранее требовавшие полных каналов передачи данных, что позволило быстрее и независимее реагировать даже при сильных помехах. ИИ стал горизонтальным трендом на разных платформах и в архитектурах.

Выводы

1. Глобальные мировые инвестиции в полупроводниковую отрасль с 2024 по 2030 гг. достигнут астрономической суммы более 1,5 трлн долл., эквивалентной инвестициям за все предыдущие 20 лет.
2. Мировые цены на полупроводниковую продукцию разных типов демонстрируют разнонаправленность и зависят от роста ИИ, уровня конкурентности мировых компаний на рынке и перехода в изготовлении продукции к самым современным и дорогим технологиям менее 5 нм.
3. Техпроцесс контрактного производства чипов по 2-нм технологии набирает популярность быстрее, чем 3-и 5-нм предшественники на сопоставимых фазах жизненного цикла. TSMC сформировала пакет 2-нм заказов на весь 2026 г., но высокие цены TSMC в 30 тыс. дол. за 300-мм пластину дают шанс ее конкурентам Samsung и Intel в привлечении заказов.
4. Из-за бума ИИ, дефицита микросхем памяти HBM и намерений трех главных мировых производителей для максимального извлечения прибылей удерживать эту ситуацию мировые цены на микросхемы памяти всех типов резко возросли и взрывают мировой электронный рынок.
5. По мнению известного эксперта, рынок микросхем памяти не корректируется, как это было в предыдущие десятилетия, а реорганизуется, и давнее равновесие между спросом, предложением и ценообразованием рассеялось, вследствие чего кривые ценообразования больше не являются предсказательными.
6. Вследствие роста цен на микросхемы памяти цены на ПК и смартфоны начали расти еще в 2025 г. Их рост продолжится и в следующем году.
7. История с вмешательством властей Нидерландов в деятельность принадлежащей китайцам компании Nexperia выявила большие юридические противоречия между правом собственности и национальной безопасностью, которые суверенные страны трактуют по-разному, что грозит новыми мировыми конфликтами и снижением инвестиций.
8. Современные радиочастотные модули, управление питанием, датчики, защищенные устройства шифрования и криптографии, АЦП, ПЛИС, камеры разного назначения, электронные блоки для обнаружения слабых сигналов, фильтрации помех и быстрой обработки сигналов и др. в экстремальных условиях реального боя

в сочетании с современным программным обеспечением и ИИ становятся основой современных и будущих оборонных технологий и «умного» вооружения, создающих повышенный спрос на электронику и ее компоненты. ■

Литература

1. Semiconductor and Beyond. Global Semiconductor Industry Outlook 2026. PwC Semiconductor Center of Excellence (CoE) // www.pwc.com.
2. TSMC to Implement a Significant Price Hike. TrendForce. September 05. 2025 // www.trendforce.com.
3. TSMC Could Charge up to \$45,000 for 1.6nm Wafers – Rumors Allege a 50% Increase in Pricing over Prior-Gen Wafers. Tom's Hardware. June 4. 2025 // www.tomshardware.com.
4. China Wants to Smash Chip Prices. Overclocking. January 27. 2025 // www.overclocking.com.
5. SMIC Reportedly Raises Prices by 10%, Memory Products Lead the Way. TrendForce. August 18. 2025 // www.trendforce.com.
6. Rumors Regarding Price Reductions in Mature Process for Foundries Emerge, Signaling a Further Decrease in Prices in Q2. TrendForce. March 26. 2024 // www.trendforce.com.
7. TSMC Offloads Older Tools to VIS as It Repurposes Fabs for Next-Gen Tech. DigiTimes. November 12. 2025 // www.digitimes.com.
8. TSMC to Exit GaN Production by July 2027, Reportedly Repurposes Fab for Advanced Packaging. TrendForce. March 07. 2025 // www.trendforce.com.
9. Samsung Reportedly Cuts 2nm Foundry Prices by 30% to Counter TSMC's 50% Hike. DigiTimes Asia. September 26. 2025 // www.digitimes.com.
10. Intel, AMD Upgraded to Overweight as Server CPUs Mostly Sold out for 2026: KeyBanc. Seeking Alpha. January 13. 2026 // www.seekingalpha.com.
11. Will TSMC's 2nm price hike force Qualcomm and MediaTek to switch orders to Samsung? DigiTimes. October 22. 2025 // www.digitimes.com.
12. Боднар Д. Полупроводниковая микроэлектроника – 2025 г. Часть 2.1. Китай обваливает мировые цены широкозонных полупроводников, приводит лидеров рынка к банкротству и вынуждает их менять стратегии развития. Электронные компоненты. 2025. №11.
13. Rising Memory Prices Weigh on Consumer Markets; 2026 Smartphone and Notebook Outlook Revised Downward. TrendForce. November 17. 2025 // www.trendforce.com.
14. Revises Down 2026 Global Notebook Shipments to a 5.4% YoY Decline; Apple and Lenovo Demonstrate Resilience on Supply-Chain and Scale Advantages. TrendForce. December 30. 2025 // www.trendforce.com.
15. Samsung and SK Hynix Deliberately Cut Production to Allow Price Increases! They Refuse to Expand Memory Chip Production. EEWorld. December 03. 2025 // www.eeworld.com.cn.
16. SK Hynix, a Critical Nvidia Supplier, Has Already Sold out Chips for 2026 as AI Demand Booms. CNBC. October 29. 2025 // www.cnbc.com.
17. Micron to Exit Consumer Memory Business amid Global Supply Shortage. Reuters. December 3. 2025 // www.reuters.com.
18. Memory Price Surge Reportedly to Push Samsung, SK Hynix Gross Margins above TSMC in 4Q25. TrendForce. December 23. 2025 // www.trendforce.com.
19. Dell Technologies COO Jeff Clarke Says Price Increases Coming As 'Unprecedented' Memory Shortage Takes Hold. The Channel Company. November 26. 2025 // www.crn.com.
20. Dell Raises PC Prices 15–20%, Lenovo Follows in January. TechPowerUp. December 6. 2025 // www.techpowerup.com.
21. Advanced Memory Prices Likely to Double as DRAM Crunch Spreads on NVIDIA Pivot, Structural Factors. November 19. 2025 // www.counterpointresearch.com.
22. Claus Aasholm on the Ripples and Tsunamis in the Chip Supply Chain. Evertiq AB. June 23. 2025 // www.evertiq.com.
23. The Memory Market Isn't Correcting – It's Reorganising. Electropages. November 18. 2025 // www.electropages.com.
24. The AI Frenzy is Driving a Memory Chip Supply Crisis. Reuters. December 3. 2025 // www.reuters.com.
25. Status of the Memory Industry 2025. YOLE Group // www.yolegroup.com.
26. Memory Solutions for Gen AI Part 21: Memory Market Faces Mounting Strains. November 17. 2025 // www.counterpointresearch.com.
27. Morgan Stanley "Samsung Electronics' HBM competitiveness is increasing, customized 'logic die' is important, but foundry ownership is highlighted". Business Post. August 27. 2025 // www.businesspost.co.kr.
28. NVIDIA Reportedly Eyes Small-Scale HBM Base Die Production in 2027. TrendForce. August 18. 2025 // www.trendforce.com.
29. Fujitsu joins next-gen AI memory project led by SoftBank. Nikkei Asia. December 26. 2025 // www.asia.nikkei.com.
30. Expert Says HBF May Be Deployed in NVIDIA GPUs by 2027–28; Market Could Surpass HBM by 2038. TrendForce. January 16. 2026 // www.trendforce.com.
31. Netherlands Invokes Rare Emergency Law to Take Charge of Chinese Chipmaker. Euronews. October 13. 2025 // www.euronews.com.
32. China's Wingtech to Acquire Dutch Semiconductor Firm Nexperia for \$3.6 Bln. Reuters. October 25. 2018 // www.reuters.com.
33. UK Orders Sale of Microchip Factory by China's Nexperia, Citing National Security. Reuters. November 17. 2022 // www.reuters.com.
34. After Nexperia: Can Europe Protect Chips Without Scaring off Investors? EETimes. October 12. 2025 // www.eetimes.com.
35. Seven Defense Technologies Driving Electronics Demand in 2025. Evertiq AB. December 17. 2025 // www.evertiq.com.