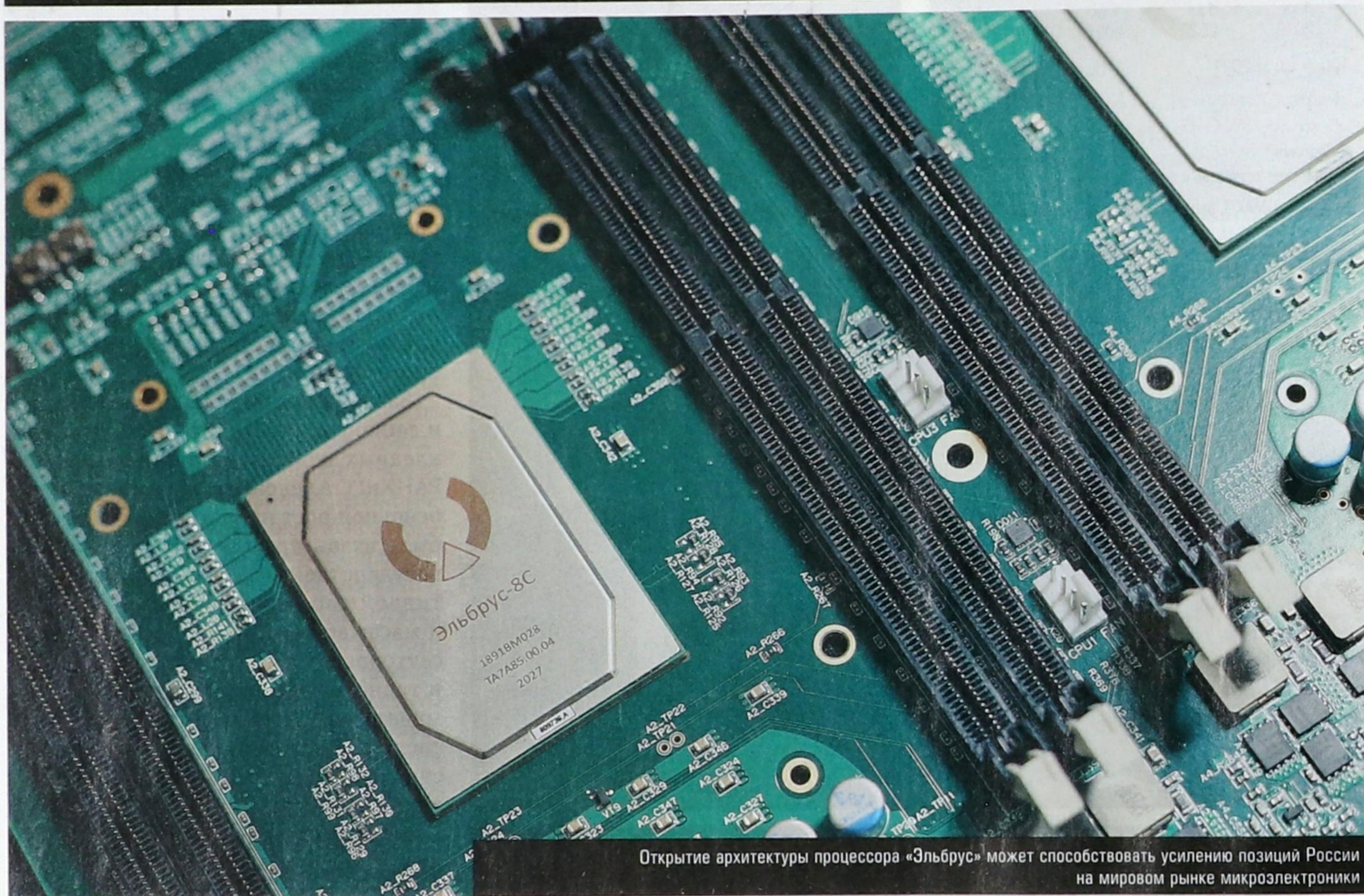


Иван Покровский\*, Александр Механик

# Возможности и проблемы отечественной микроэлектроники

Санкционный нажим на российскую микроэлектронную отрасль можно отразить, сконцентрировавшись на поддержке специалистов и развитии фундаментальной и прикладной науки, необходимой для разработки новых технологий и оборудования



Открытие архитектуры процессора «Эльбрус» может способствовать усилению позиций России на мировом рынке микроэлектроники

**Р**оссийские производители электроники и вообще всех устройств, где используется микроэлектроника (а это практически вся современная техника, от стиральных машин до самолетов), оказались в ситуации, когда, с одной стороны, многократно вырос спрос на их продукцию, а с другой — санкции перекрыли каналы международной кооперации и поставок. Производители оборудования отрезаны от авторизованных поставок западных микросхем, российские разработчики микросхем лишены доступа к современным полупроводниковым фабрикам, включая главную из них — тайваньскую TSMC, российские фабрики, несмотря на достаточно зрелый уровень технологий,

испытывают серьезные сложности с замещением зарубежных материалов, технологического оборудования и запасных частей к нему.

Тем не менее Россия пока остается в числе 15 стран, которые обладают собственным полупроводниковым производством и инженерной школой в этой области. Однако лучшие проектные нормы, которые можно реализовать на самой современной российской фабрике, «Микроне», как утверждает ее руководство, составляют 90 нм, при этом эксперты и заказчики считают, что устойчивым выпуском подтверждено в лучшем случае 180 нм, и это при условии доступности и использования западных материалов. В то же время самые передовые фабрики мира — TSMC и Samsung — массово выпускают микросхемы с плотностью интеграции 7 нм и замахиваются на 5–3 нм. Но справедливости ради надо сказать, что производство микросхем по нормам

180 нм и выше и сейчас составляет около трети мирового рынка, примерно столько же, сколько производство по нормам 28 нм и меньше. То есть для наших фабрик есть достаточно большая ниша и на отечественном, и на мировом рынке. Это в первую очередь силовая и СВЧ-электроника, широкий спектр аналоговых микросхем, а также цифровые микросхемы малой и средней интеграции, применяемые там, где на первом месте надежность, а не производительность.

Другим ограничением является производственная мощность российских полупроводниковых фабрик. Проектные производственные мощности «Микрона» составляют 36 тыс. 200-миллиметровых пластин в год. Это всего 0,06% мирового рынка 200-миллиметровых пластин того же класса. А российский рынок составляет 0,4% мирового. Проектные мощности «НМ-Тех» (в прошлом «Ангстрем-Т») примерно в пять раз больше, чем у «Микро-

\* Исполнительный директор Ассоциации разработчиков и производителей электроники.

на», но их пока не удается в полной мере ввести в производство, в том числе из-за проблем с поставками зарубежных материалов и технологического оборудования. Но гипотетически имеющиеся мощности «Микрона», «НМ-Теха» вместе с рядом других российских полупроводниковых фабрик и белорусским «Интегралом» могут закрыть текущие потребности российских производителей оборудования в дискретных полупроводниках и микросхемах среднего уровня интеграции.

Сейчас же такой возможности практически нет. Потому что дело не только в проектных нормах, но еще и в широком наборе технологических опций, которые необходимы для производства, например, микроконтроллеров. Десятки технологий только в цифровых микросхемах, а в общей сложности это сотни технологических опций, на освоение которых требуются многие годы даже при наличии всех необходимых материалов, средств производства, измерений и контроля. При продвижении в более тонкие нормы объем и сложность решаемых задач возрастает экспоненциально.

Итак, перед российской полупроводниковой промышленностью стоит выбор, в каких направлениях развиваться сейчас и в дальнейшем. Если одновременно расширять мощности, осваивать необходимые технологические опции и при этом продвигаться в миниатюризации проектных норм, риск провалить все планы из-за распыления ресурсов очень велик.

## Кадры решают все

Выше мы написали, что наши фабрики не обладают широким набором технологических опций, который необходим для переноса в Россию производства микросхем отечественной разработки, выпускавшихся на мощностях зарубежных фаундри, даже если это проекты 180 нм и больше. Одной из таких опций, к примеру, является технология производства флеш-памяти, она используется почти во всех микроконтроллерах и во многих других цифровых микросхемах. Разбирая этот пример, можно показать, что узким местом российской микроэлектроники является не объем инвестиций. На разработку и освоение технологии флеш-памяти средства выделялись не один раз, но результаты НИ-ОКР не воплотились в выпускаемой продукции. Потому что основная проблема оказалась не в объеме инвестиций, а в наличии инженерных и управленческих компетенций, которых, как оказалось, недостаточно.

По той же причине не удалось запустить на «Микроне» полноценное производство обещанных задолго до санкций



Научный руководитель НИИ системных исследований РАН академик Владимир Бетелин

топологических норм в 90 и 65 нм. В этом же причина долговременных неудач с запуском фабрики «Ангстрем-Т», а затем «НМ-Тех». Еще можно вспомнить новую фабрику фрязинского «Истока», при том что это был один из крупнейших в мире инвестиционных проектов в области СВЧ-полупроводников.

Осознавая нехватку отечественных специалистов, российские компании пробуют приглашать на работу специалистов с Тайваня и из Китая. Это только подтверждает наше мнение, что ключевая проблема отрасли — дефицит инженеров-технологов и директоров производств.

Вот почему, на наш взгляд, простое увеличение инвестиций в развитие микроэлектроники, в частности в строительство новых фабрик (а согласно стратегии развития отечественной электроники предполагается построить даже несколько фабрик, рассчитанных на производство по разным топологическим нормам, вплоть до 5 нм), ничего не решит. Во-первых, не имея специалистов, не построим, а если и построим, то не запустим, как это уже происходит сейчас. Опыт, который мы уже имеем, показывает, что сейчас в первую очередь нужно инвестировать в людей, в инженерные технологические школы, в научные сообщества. Если у наших предприятий нет возможности не то что привлекать, даже удерживать лучшие кадры, то какие бы деньги ни выделялись на закупку технологического оборудования, это будет мертвое железо.

А если мы разворачиваемся в направлении кадров, сразу возникает вопрос квалификации тех, кто управляет этим процессом. Недостаточно иметь какую-то квалификацию в экономике или юриспруденции. Для того чтобы выстроить инженерную школу, нужно вырасти из

этой школы, быть ее частью, понимать, как она устроена, чем живет инженерное и научное сообщество. Даже для того, чтобы купить оборудование, нужно быть специалистом не в закупках, а в технологиях, в первую очередь нужно разбираться в этом оборудовании, иначе это пустая трата средств.

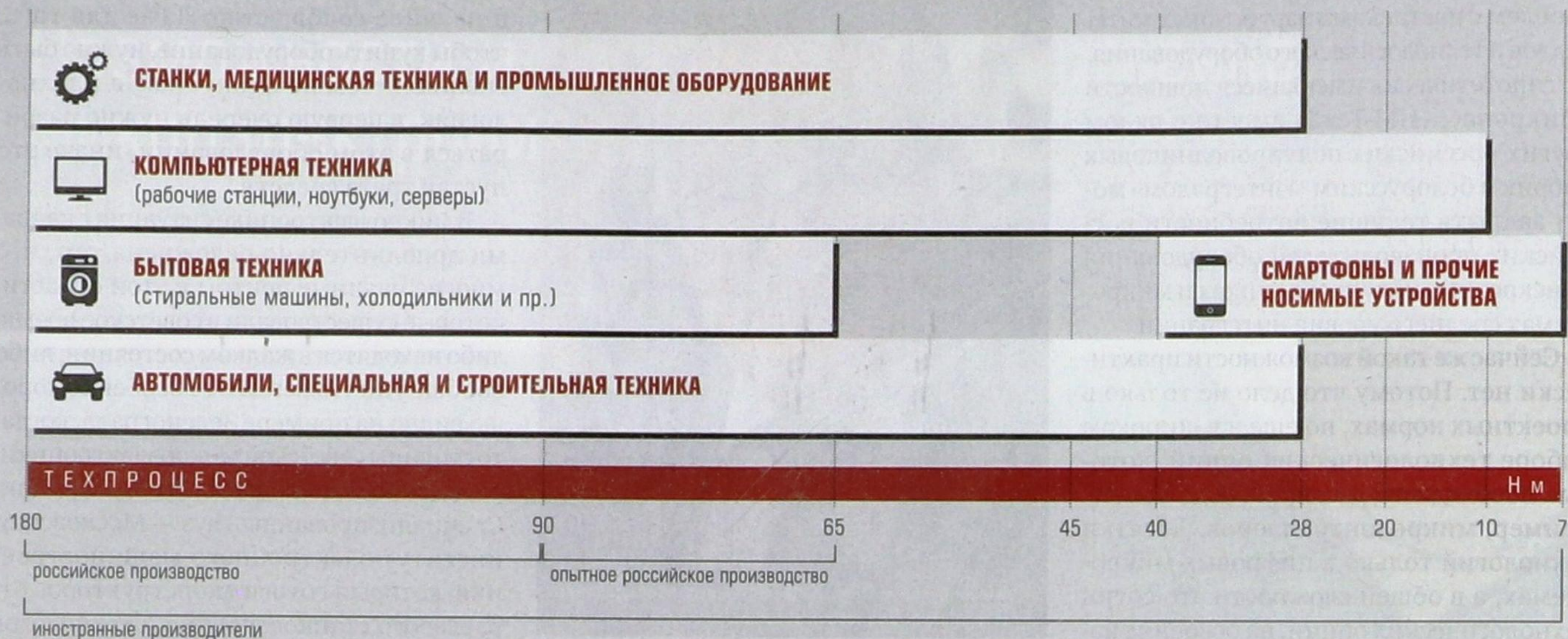
В микроэлектронике ситуация с кадрами дополнительно осложнена тем, что многие научные центры в этой области, которые существовали в советское время, либо находятся в жалком состоянии, либо вообще уничтожены. Это особенно хорошо видно на примере Зеленограда, когда-то столицы советской микроэлектроники. То же самое наблюдается в образовании. Специализированный вуз — Московский институт электронного машиностроения, который готовил конструкторов отраслевого станкостроения и технологов полупроводникового производства, — потерял свое исходное предназначение, присоединен к Высшей школе экономики, и электронное машиностроение заменено математикой. Теперь это Московский институт электроники и математики. Другой пример — Санкт-Петербургский ЛЭТИ, который раньше был одним из самых сильных инженерных вузов в области полупроводников, не только в СССР и России, но и в мире. Его выпускники занимают ведущие позиции в российских и зарубежных компаниях. Но базовые полупроводниковые кафедры ЛЭТИ держатся сейчас на энтузиазме нескольких выпускников, которые продолжают поддерживать свою альма-матер, совмещая преподавательскую деятельность с основной работой.

Но мало подготовить, нужно еще и удержать специалиста в профессии. К сожалению, нередко бывает, что технолог полупроводникового производства, даже с опытом работы больше десяти лет, уходит в разработку программного обеспечения из-за сложившегося разрыва в оплате труда. Парадоксально, но оплата труда технологов полупроводникового производства значительно ниже, чем у разработчиков-схемотехников электроники, а у тех ниже, чему у разработчиков программного обеспечения, при этом по срокам, сложности и стоимости подготовки эти профессии располагаются в обратном порядке.

## Сконцентрировать специалистов

С учетом сложившихся обстоятельств приходится говорить не столько о поддержке существующих научных, инженерных и образовательных центров полупроводниковых технологий и машиностроения, сколько о конкретных еще сохранившихся специалистах, вокруг которых можно

Топологические нормы микроэлектроники, используемой в различных отраслях промышленности



**Россия в состоянии производить на своих фабриках некоторую часть микроэлектроники для нужд промышленности. Расширению их возможностей мешает отсутствие на фабриках многих технологий, недостаток квалифицированных кадров и производственных мощностей. Свои текущие проблемы заказчики решают за счет параллельного импорта, но это не снижает рисков технологической зависимости**

что-либо строить. Таких людей остались единицы. Дефицит кадров в отрасли, особенно с учетом планов ее развития, — проблема гораздо более острая, чем дефицит инвестиций, машин и материалов. Вот почему сейчас нужно сфокусировать внимание в первую очередь на специалистах, их взаимодействии, совместной работе над проектами развития, воссоздании технологической школы. Если специалисты так и останутся разобщенными, то даже при увеличении финансирования не удастся избежать дальнейшего упадка и полного развала отрасли. Необходимо объединить специалистов в совместных проектах и планах. Открытый вопрос — кто сможет взять на себя лидерство и предложить программу развития. И еще: кто и как обеспечит политическую поддержку при переходе от освоения денег к инвестициям в развитие, а это будет болезненный процесс для многих руководителей и авторитетов отрасли.

В последнее время обсуждается идея возобновления проекта Нового

Зеленограда, который был начат под занавес советской власти с целью развития самых современных направлений микроэлектроники и заброшен в начале 1990-х. Это, в частности, предложил в своем интервью «Российской газете» научный руководитель Института проблем проектирования в микроэлектронике РАН академик Александр Стемповский. Можно напомнить, что атомный и ракетный проекты начинались именно так: собирались со всего Союза специалисты из разных областей науки и техники, знания и умения которых можно было использовать в проекте, они были обеспечены всем необходимым и для жизни, и для работы, и перед ними ставились соответствующие задачи. Собственно, так же создавался Зеленоградский научный центр, так же развивалась лазерная отрасль. Зеленоград, в котором уже работают многие из таких специалистов, обладающий по крайней мере частью необходимой инфраструктуры, остат-

ками советских институций и крупным учебным центром, более всего подходит для этих целей.

Однако важно понимать, что объединяющей является не территория, а совместные проекты и планы развития отрасли. Территориальная близость может способствовать повышению эффективности, но не играет ключевой роли. Это причина, по которой множество проектов развития кластеров электроники в разных регионах фактически провалились, без объединяющих проектов они в лучшем случае стали распределителями налоговых льгот и субсидий регионального уровня.

Большую роль в планировании и управлении развитием отрасли может сыграть Академия наук. Независимые академические институты могут взять на себя исследования в области базовых технологий, которые помогут корректировать технологическую стратегию отрасли, обеспечивать стандартизацию, методическое обеспечение и другие задачи уровня научно-технологической политики отрасли.

В структуре управления отраслью Академия наук может играть важную роль, балансируя бюрократию министерств и госкорпораций, с одной стороны, и частные интересы коммерческих компаний — с другой.

### Мобилизовать то, что есть

А кадры нужны нашей микроэлектронике в первую очередь для того, чтобы на уже имеющихся мощностях развернуть уверенное производство по проектным нормам 130, 90 и 65 нм. Во-вторых, чтобы развить на них все необходимые технологии, позволяющие выпускать всю гамму микросхем на этих проектных нормах, которые потребляет россий-

ская промышленность. Что, в свою очередь, должно позволить сформировать вокруг российских фабрик устойчивую экосистему партнеров, разработчиков микросхем, размещающих свои заказы именно на российских фабриках во всех тех случаях, когда проект соответствует технологическим возможностям фабрик. Таким образом, увеличился бы объем производства наших фабрик, появилась бы возможность масштабирования объемов выпуска на них и увеличения числа и размера заказчиков.

Однако этому должна предшествовать унификация используемой в российской технике элементной базы. В свое время академик **Владимир Бетелин** в одном из своих интервью обратил внимание на то, что у нас очень многие одинаковые вроде бы задачи решаются на основе разной элементной базы. И если провести унификацию, с помощью государства в том числе, это позволит нарастить серийность выпускаемой продукции и резко увеличить ее производство. А унификация может опираться только на развитые в отрасли технологические платформы и функциональный анализ электронных систем, которые реализованы в российских отраслях. Унификация, однако, на наш взгляд, должна опираться в первую очередь не на государственные решения, хотя внимание государства к этим проблемам очень важно, а на согласованные решения участников отрасли.

**Андрей Яковлев**, генеральный директор группы компаний «Брэйв Системс», разработчика и производителя разнообразного программного обеспечения и оборудования, обратил наше внимание на проблему функциональной избыточности программного обеспечения и микроэлектроники, используемых, в частности, в медицинском оборудовании: для решения поставленных задач достаточно было бы использовать менее производительное оборудование и ПО. Преодоление этой проблемы позволит значительно расширить область применения микросхем российского производства, несмотря на большие топологические нормы, и тем самым сократить зависимость от импорта. Компания Яковлева в настоящее время работает над решением этой проблемы в медицинской аппаратуре.

И это развитие в направлении унификации, в направлении расширения технологических опций и масштабов производства, в направлении преодоления функциональной избыточности разнообразной техники обеспечит существующим фабрикам ту основу, отталкиваясь от которой можно идти уже в более инвестиционно емкие проекты. И это даст экономическое оправдание как строитель-

ству новых фабрик по нормам 180 нм, так и освоению новых, более миниатюрных топологических норм. После чего можно было бы уверенно приступить к строительству и запуску фабрик, рассчитанных на меньшие технологические нормы.

При этом, как мы уже сказали, надо учитывать, что совокупного объема производства российских фабрик, даже если они будут запущены на полную мощность, недостаточно для покрытия российских потребностей даже в диапазоне технологических норм выше 180 нм. И следовательно, нам не избежать, с одной стороны, сотрудничества, по крайней мере с дружественными странами, для обеспечения наших потребностей в полупроводниках, а с другой — делает бесспорно необходимым строительство новых фабрик.

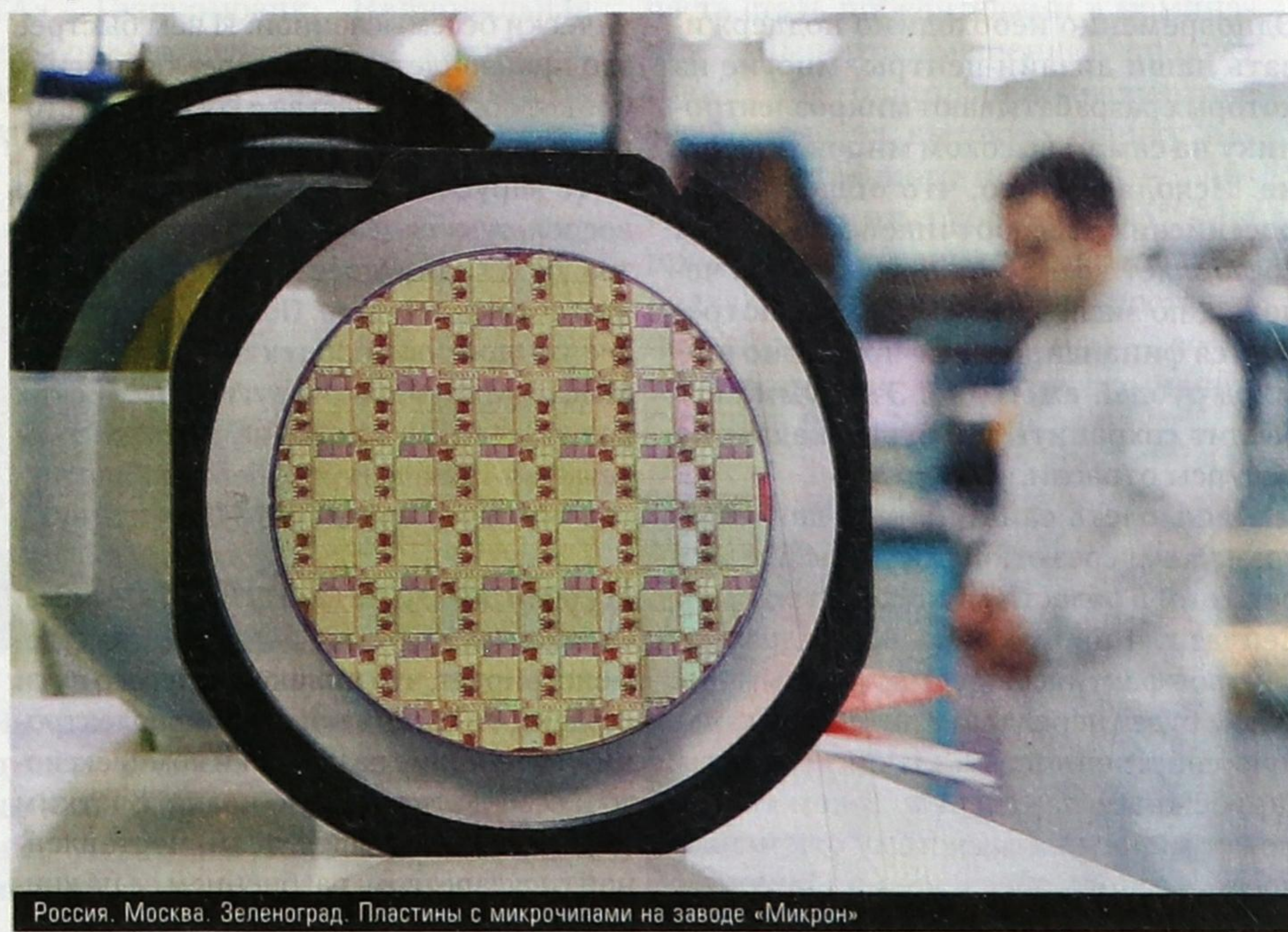
### Чего ждать от новых фабрик

Однако, начиная строительство собственных фабрик или хотя бы технологических линий по производству микросхем во всем диапазоне технологических норм и технологий, необходимо помнить, что такое же строительство затеяли те же США, Китай, Европа, ОАЭ, Индия и многие другие. Согласно свежему отчету отраслевой ассоциации производителей полупроводниковой продукции SEMI о строительстве полупроводниковых заводов во всем мире, в 2021 году было начато строительство 23 новых заводов, в 2022-м запущена стройка еще 33 фабрик, а в 2023-м эстафету подхватят 28 новых строительных площадок. У такого одновременного запуска несколько причин. Во-первых, нарастающее потребление полупроводниковых изделий в мире на волне всеобщей цифровизации. Во-вторых, возникший в последние два

года дефицит этих изделий, приведший к остановке многих производств, в них нуждающихся, например в автомобильной промышленности и станкостроении. В-третьих, опасения последствий возможного военного столкновения между Китаем и одним из главных производителей полупроводников в мире, Тайванем, которые даже породили в США проекты по уничтожению в случае возникновения такого конфликта полупроводникового производства на Тайване, чтобы оно не досталось Китаю.

Однако столь массовое строительство вызвало опасения, что это приведет к перепроизводству полупроводников в мире. Эта перспектива создает для России одновременно и возможности, и проблемы. Возможности появляются до строительства новых российских фабрик в силу того, что многие производители полупроводников, по крайней мере в дружественных странах, в условиях избытка полупроводниковых мощностей в мире в поисках заказчиков будут сами искать способы обойти санкции, наложенные на Россию, чтобы загрузить свои мощности.

Но именно поэтому могут возникнуть проблемы у новых российских фабрик: российских потребностей может оказаться недостаточно для экономически оправданной загрузки их мощностей. В связи с этим встает вопрос о рациональном выборе их специализации, которая позволит им занять достойное место не только на российском, но и на мировом рынке, и о рациональной кооперации российской микроэлектроники с микроэлектроникой дружественных стран. Нужно определить, как мы своими фабриками дополним запускаемые в мире.



Россия. Москва. Зеленоград. Пластины с микрочипами на заводе «Микрон»

При этом надо понимать, что, учитывая санкции, из-за которых нам отказано в поставках оборудования для таких фабрик, нам предстоит значительную его часть разработать и произвести самостоятельно. По самым оптимистичным прогнозам, создание фотолитографа — ключевой машины, необходимой для изготовления микроэлектроники, — может потребовать от пяти до десяти лет. К сожалению, начав эти работы еще десять лет назад, мы их забросили, чтобы возобновить только в 2021 году. А Китай уже вплотную приблизился к тому, чтобы начать выпуск этой техники: компания Huawei запатентовала фотолитографическую машину, которая позволит производить чипы по техпроцессу менее 10 нм. Возможно, с учетом того, что многие наши разработки в этой области уникальны, мы сможем наладить кооперацию с Китаем в этой сфере.

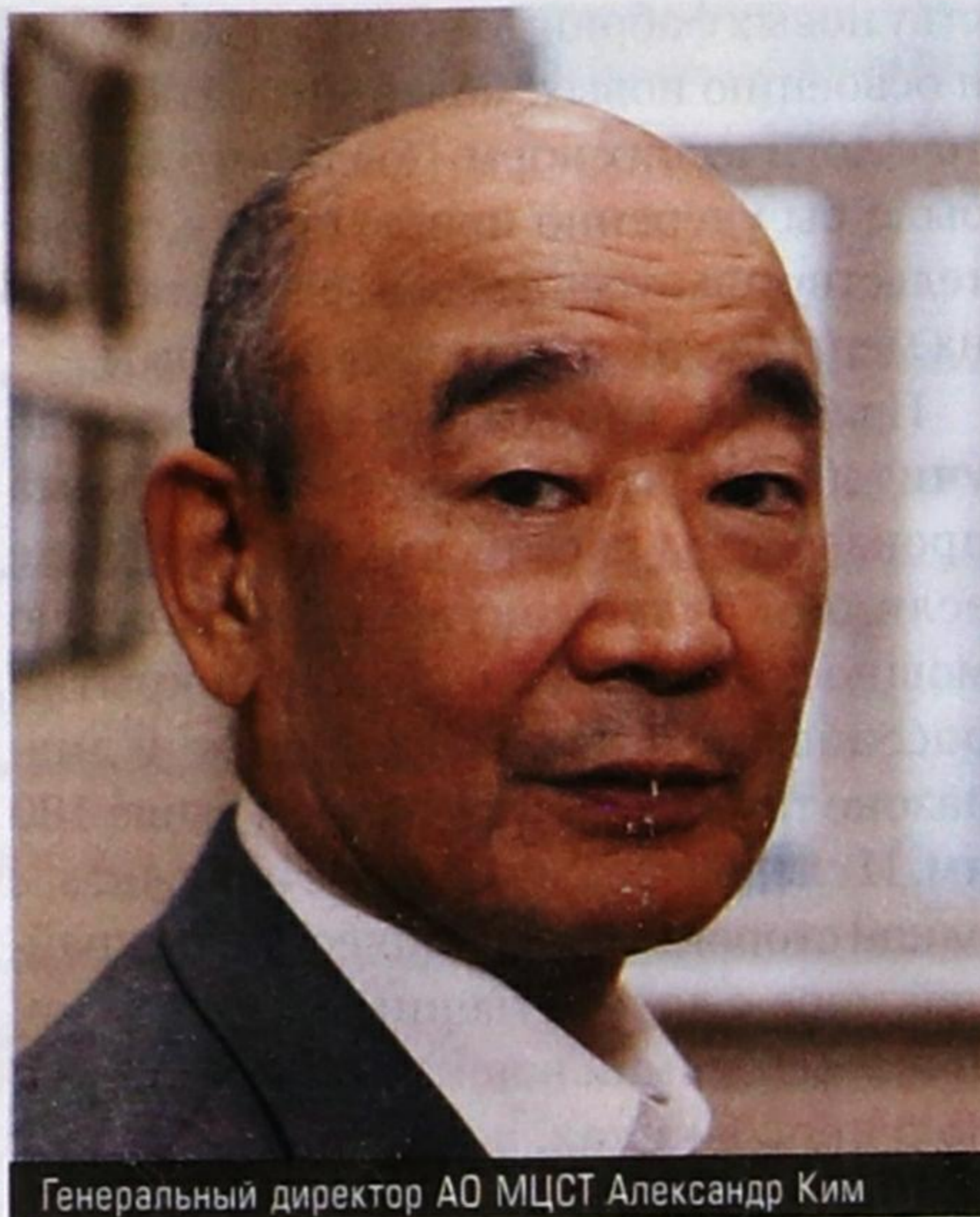
Кроме того, даже построив и запустив фабрику, мы окажемся в зависимости от многочисленных поставщиков разнообразных материалов, необходимых для производства полупроводников, большую часть которых ни мы, ни дружественные страны не производят. И это уже проблема для наших действующих фабрик. Достаточно перестать получать один такой материал, чтобы производство встало. Так что проблему санкций строительство фабрик не решит, а переведет ее в другую плоскость.

А пока надо постараться максимально использовать те перспективы для нашей микроэлектроники, которые могут открыться на волне возможного перепроизводства полупроводников в мире, о котором мы сказали выше.

### Не бояться открытости

Одновременно необходимо поддерживать наши дизайн-центры, многие из которых разрабатывают микроэлектронику на самом высоком мировом уровне. Исходя из того, что общее число российских разработчиков микросхем составляет всего около двух тысяч человек, по экспертным оценкам, потребуются финансирование примерно в 10 млрд рублей ежегодно. Эта сумма позволит сохранить ключевые кадровые ресурсы отрасли.

Преодолеть санкционное давление возможно через открытость российских решений в области микроэлектроники. Сейчас для многих российских дизайн-центров фактически единственным выходом будет передавать интеллектуальную собственность на свои продукты зарубежным партнерам. В чем-то это может напоминать систему открытого программного обеспечения Linux или открытой процессорной архитектуры на



Генеральный директор АО МЦСТ Александр Ким

основе концепции RISC — RISC-V. Тем более что, как говорил в интервью нашему журналу генеральный директор МЦСТ Александр Ким, его компания готова повышать открытость архитектуры своих разработок «Эльбрус» (см. «Битва на полях микроэлектроники: с «Эльбрусом» наперевес», «Эксперт» № 30 за 2021 год). Сейчас мы все это не сможем производить без доступа к современной фабрике, но нам нужно продолжать развивать команды разработчиков, загружать их реальными, практическими задачами. Нужно приглашать к сотрудничеству всех, кто может присоединиться к разработке доверенных микропроцессоров и других микросхем, кто может участвовать в создании открытой библиотеки IP-блоков, и выводить российские проекты на мировой рынок.

Этот ход — подарить свои проекты всему миру — был бы очень сильным решением, которое вскрыло бы санкционную изоляцию и сделало бы ее практически бессмысленной. И чем быстрее это произойдет, тем быстрее будет снят бойкот сотрудничества с Россией со стороны зарубежных компаний.

Те зарубежные компании, которые воспользуются «даром» открытых проектов, будут заинтересованы в долгосрочном сотрудничестве. Потому что наиболее интересные продукты у «Байкала», МЦСТ, «Миландра» и других российских разработчиков только на подходе. Нам есть чем привлечь зарубежных партнеров к долгосрочному сотрудничеству.

### Нужен комплексный план

Описанная ситуация, на наш взгляд, демонстрирует, что никакого другого пути создания в России новой микроэлектроники нет, кроме разработки комплексного и всеохватывающего плана, с четким определением общей цели, поставленной государством, разбиением ее на конкретные задачи и доведения этих планов

до конкретных исполнителей. И нас не должно смущать, что многие предприятия и компании теперь частные. Частники тоже любят четкие цели и планы, которые гарантируют им долговременную загруженность. Ассоциация разработчиков и производителей электроники уже работает над этой задачей. Но ясно, что здесь необходимо объединение усилий отрасли и государства.

Попытаемся сформулировать основные положения такого плана так, как он нам видится.

1. Развитие фундаментальной и прикладной науки, необходимой для разработки новых технологий и нового оборудования. Для решения этой задачи необходима консолидация научно-инженерных сил отрасли и создание соответствующих институций по важнейшим направлениям в рамках Академии наук.

2. Восстановление полноценной системы подготовки кадров технологов и машиностроителей в области микроэлектроники.

3. Формирование устойчивого внутреннего спроса на изделия микроэлектроники через локализацию производства микроэлектронных компонентов, которые могут производить отечественные фабрики.

4. Мобилизация всех возможностей отрасли для обеспечения внутреннего спроса на изделия микроэлектроники через:

— развитие на отечественных предприятиях всех необходимых технологий, позволяющих выпускать на уже имеющихся проектных нормах всю гамму микросхем, которые потребляет российская промышленность;

— унификацию потребляемой российскими предприятиями микроэлектронной продукции;

— преодоление функциональной избыточности программного обеспечения и микроэлектроники, используемых в отечественном электронном оборудовании.

5. Поддержка существующих дизайн-центров, способных разрабатывать микропроцессоры на самом высоком уровне, в том числе через налаживание их связей с фабриками в дружественных странах и передачу интеллектуальной собственности на свои продукты зарубежным партнерам.

6. Расширение производственных и технологических возможностей существующих фабрик и строительство современных фабрик, опирающихся на отечественное оборудование и оборудование из дружественных стран, с которыми надо развивать кооперацию по его проектированию и изготовлению. ■