

АКТИВИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА РОССИИ И БЕЛАРУСИ В СФЕРЕ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ — НЕ ПОЛИТИЧЕСКИЙ ЛОЗУНГ, А ЖИЗНЕННАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ



Анатолий Белоус (Anatoly Belous)

Заместитель генерального директора ОАО «ИНТЕГРАЛ» — управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» по научно-техническим программам и научной работе, член-корр. НАН Беларуси, д. т. н., профессор, Лауреат Государственной премии РБ, Заслуженный изобретатель РБ

Процессы глобализации мировой полупроводниковой промышленности настоятельно требуют интеграции усилий российских и белорусских предприятий, дизайн-центров, вузов и академических институтов в решении проблемы вывода микроэлектронной отрасли Союзного государства на новый технологический уровень.

Важной составляющей для успешного развития полупроводниковой промышленности Союзного государства является синхронизация планов в области разработки импортозамещающей ЭКБ и наличие экспериментально-промышленной базы для ускоренной разработки и освоения новых поколений материалов, технологий и изделий, а также активное сотрудничество с академическими институтами и вузами двух государств в рамках научно-технической и образовательной деятельности с целью подготовки высококвалифицированных кадров.

УСИЛЕНИЕ ЛИДИРУЮЩЕЙ РОЛИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В РАЗВИТИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

Благодаря развитию технологий человечество все время продвигается к новым высотам. Эти события характеризуются этапами или вехами в технологической истории, известными как промышленные революции.

Первая промышленная революция ознаменовалась использованием для нужд производства энергии пара и воды, вторая — массовым распространением конвейерного производства с применением электричества, третья — внедрением компьютеров и авто-

матизации. Теперь мы подошли к новому этапу развития — четвертой промышленной революции, получившей название «Индустрия 4.0» (The Fourth Industrial Revolution, Industry 4.0). Это прогнозируемое событие, предусматривающее массовое внедрение киберфизических систем в производство и обслуживание человеческих потребностей, включая быт, труд, досуг, и именно это открывает нам путь в «Индустрию 4.0».

В четвертой промышленной революции акцент сместился на цифровую автоматизацию заводов с упором на массовое внедрение в сферу производства интеллектуальных автономных киберфизических систем, кото-

рые станут активно использовать огромные массивы данных (так называемые большие данные) и алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта для повышения эффективности производства. Именно это и требуется, чтобы сделать производство более гибким, приспособленным к современным реалиям и конкурентоспособным в зарождающемся новом «цифровом мире».

Все это становится возможным прежде всего за счет усиления лидирующей роли микроэлектроники в развитии научно-технического прогресса [1].

Сегодня микроэлектроника является своего рода локомотивом развития раз-

личных отраслей, начиная от энергетики, машиностроения, химического и биотехнологического производства, транспортных систем, авиа- и приборостроения, систем связи и управления, навигации, банковской системы, космических технологий и военной техники и заканчивая «умным домом» и «электронным правительством».

Более того, в последнее десятилетие микроэлектроника становится явным лидером в области конвергенции (взаимного проникновения) различных научно-технических направлений, являясь технологическим базисом для искусственного интеллекта, нейроморфных вычислений, нейронных сетей, систем кибероружия и кибербезопасности.

Созданная на основе микроэлектронных технологий функционально насыщенная ЭКБ — электронная компонентная база (микросхемы, полупроводниковые приборы, модули, системы на кристалле) служит технологической основой всеобщей цифровизации. При этом под цифровой экономикой следует понимать не столько программный продукт, сколько аппаратно-программные комплексы («интеллектуальные» приборы, оборудование, изделия, системы и т.д.), то есть законченные «умные» изделия, применяемые в различных критически важных отраслях и сферах. Именно они обеспечивают независимость в ходе санкционных войн. А самое главное — развитие собственного микроэлектронного производства и производства электронных модулей и систем обеспечивает реальную безопасность государства в целом, безопасность экономики и обороноспособность как основы государственности [2, 3].

Особую роль микроэлектроника приобрела в последнее время в связи с необходимостью решения главной задачи — обеспечения национальной безопасности на фоне экспоненциального роста количества киберугроз, усложнения видов кибератак, постоянно нарастающего пресса экономических и политических санкций. Принятые большинством развитых стран концепции обеспечения национальной кибербезопасности базируются на использовании во всех критических инфраструктурах (энергетика, транспорт, банковская и финансовая сфера, связь, навигация, космическая техника, высокоточное оружие и военная техника) исключительно «кибербезопасной» (в отечественной терминологии — доверенной) ЭКБ [4–6].

В основу современной «пирамиды кибербезопасности» критических инфраструктур должна быть положена именно элементно-компонентная база (ЭКБ), а не, например, технические средства обеспечения

кибербезопасности (которые, безусловно, необходимо использовать), потому что в любой аппаратно-программный комплекс обеспечения безопасности (защиты) может быть внедрен злоумышленником либо программный либо аппаратный троян, а то и оба зловреда вместе. Объектом кибердиверсии может стать, например, даже самый «защищенный» маршрутизатор самых «безопасных» промышленных сетей, использующих импортную ЭКБ. Поэтому в современных условиях существенно возрастают требования к обеспечению безопасности микроэлектронных изделий.

Как в Беларуси, так и в России созданы и действуют многочисленные научные школы и направления, посвященные развитию микроэлектронных технологий и их многочисленных применений [7–11].

О достаточно высоком уровне развития белорусской науки в области микроэлектроники и ее многочисленных применений говорит тот факт, что изданные в Беларуси и России энциклопедии, монографии, руководства по проектированию субмикронных микросхем белорусских ученых и инженеров переведены на английский, французский, испанский и другие языки и широко цитируются в работах зарубежных ученых [12–18].

ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ВЕДУЩИХ СТРАН МИРА

Принимая во внимание вышеизложенное, понятно, что развитие микроэлектронной промышленности находится под непосредственным контролем правительств всех индустриально развитых стран мира — США, КНР, Япония, Тайвань и государств ЕС. Однако каждая страна имеет свои подходы к вопросам государственного управления, выбору методов стимулирования и создания соответствующей научно-технической инфраструктуры [19].

В США правительство и конгресс уделяют особое внимание развитию микроэлектроники прежде всего как основы национальной безопасности. Так, в конгрессе США приняты два законопроекта — об американских кремниевых заводах (American Foundries Act of 2020) и о стимулировании разработки и производства полупроводниковых приборов в Америке (Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors for America Act, CHIPS for America Act).

Первый из указанных законов — закон American Foundries Act of 2020, предусматривает реализацию федеральной программы предоставления **грантов в размере**

\$15 млрд, для стимулирования создания новых предприятий по производству ИС и реализации программ НИОКР. Законопроект также предусматривает выделение **\$5 млрд** на государственно-частное сотрудничество по строительству или модернизации заводов по обработке пластин для обеспечения потребностей национальной безопасности, разведки и критической инфраструктуры.

Глобальная цель американской стратегии развития — доминирование на мировом рынке полупроводников.

Администрация Байдена сформулировала базовый принцип стратегии развития отрасли: **«глобальная кооперация — ключ к мировому лидерству США, а эффективное использование международной цепочки поставок — ключевой фактор американского лидерства в полупроводниковой промышленности. В силу сосредоточенности глобальных цепочек поставок полупроводников и множества поставщиков, такая система является устойчивой к любым сбоям в цепочке поставок»**.

В обоснование этого принципа разработчики американской стратегии приводят следующие аргументы [19]:

- Растущие финансовые расходы на материалы и оборудование, сложность и масштабность задач, необходимых для внедрения инноваций в производство полупроводников означают, что ни одна страна в мире не может действовать в одиночку. Перед лицом вызовов со стороны Китая сотрудничество в области полупроводников имеет решающее значение.
- В каждом сегменте глобальной «полупроводниковой» производственно-сбытовой цепочки обычно чувствует более 50 стран, в том числе предприятия из 25 стран напрямую, а остальные выполняют вспомогательные, но жизненно необходимые функции.
- Хотя отдельные страны сосредоточили свои усилия на создании внутренних полупроводниковых экосистем, однако история развития американской промышленности показывает, как эффективно использовать глобальные цепочки поставок для взаимной выгоды. Поэтому страны, которые будут стремиться к самодостаточности в этом секторе, рискуют нанести значительный ущерб отрасли в своей стране, замедляя глобальные полупроводниковые инновации.
- Соединенным Штатам следует **существенно увеличить финансирование совместных с их союзниками НИОКР** в области полупроводниковой промышленности.

В Китае правительство проводит активную политику по развитию собственного производства, в рамках которой в развитие полупроводниковой промышленности уже было инвестировано в период с 2003 по 2020 год более \$50 млрд.

Сегодня структура китайской полупроводниковой промышленности представляет собой мощную функционально завершённую комплексную систему, включающую все четыре основных звена — разработку собственных ИМС, производство в промышленных масштабах как ИМС, так и дискретных ППП, а также звено корпусирования (сборки) и тестирования ИМС и ППП.

В настоящее время в КНР имеется более 150 оснащённых современным оборудованием полупроводниковых компаний (имеющих кристалльное производство), более 200 сборочных компаний и свыше 500 Fabless дизайн-центров (компаний без собственного производства).

В рамках утверждённого правительством плана поставлена задача, чтобы 70% микросхем и полупроводниковых приборов, используемых китайскими компаниями, к 2025 году производились в Китае. В 2017 году Китай привлек \$80 млрд. В октябре 2019 года Китай дополнил эти инвестиции, объявив о создании фонда в размере \$28,9 млрд, финансируемого предприятиями, которые поддерживаются центральным и местным правительствами и China Development Bank Corp. В начале 2020 года Министерство промышленности и информационных технологий Китая утвердило национальную программу «Новая инфраструктура», в соответствии с которой до 2025 года планируется вложить **не менее \$1,4 трлн** в разработку систем искусственного интеллекта, центры обработки больших данных, мобильную связь и т. д. Для полупроводникового сектора Китая это важно, потому что в идеале инвестиции, сделанные через фонд, пойдут на цифровые технологии с использованием микросхем китайского производства.

Страны Европейского союза запланировали на 2022–2025 годы выделение не менее \$52 млрд на развитие интеграционных процессов в сфере микроэлектронной отрасли, включая строительство новых производственных линий, центров коллективного пользования современным аналитическим оборудованием, создание производств расходных материалов для отрасли.

В Российской Федерации в 2020 году была утверждена «Стратегия развития электронной промышленности РФ до 2030 года», где прописан целый комплекс мер перехода с иностранной ЭКБ на отечественную.

В марте 2021 года был утверждён план по формированию и развитию спроса на российскую электронику, то есть по формированию отечественного рынка ЭКБ и радиоэлектронных приборов и систем на её основе. Предыдущий опыт реализации инвестиционных проектов по развитию микроэлектронных производств в ПАО «Микрон» и АО «Анстрем Т» показал, что ни инвестиции, ни высокотехнологическое оборудование сами по себе не генерируют выручку и не обеспечивают окупаемость. Нужен соответствующий рынок. Поэтому сегодня стратегия Российской Федерации ориентирована на выстраивание кооперационных цепочек между производителями ЭКБ, радиоэлектронной аппаратуры и конечных изделий, при этом спрос формируется на всех трех уровнях квотированием, госзаказами и иными мероприятиями, включая финансовые инструменты стимулирования предприятий.

В начале марта 2021 года Президиум комиссии Правительства по цифровому развитию утвердил дорожную карту по формированию и развитию спроса на российскую электронику.

В период 2021–2025 годов на поддержку РЭП предполагается потратить 529 млрд руб., а всего на создание ЭКБ запланировано около 190 млрд руб., или \$2,5 млрд, что, конечно же, несоизмеримо ни с США, ни с Китаем, ни с ЕС.

В отличие от американской в российской стратегии речь не идет о построении глобальных производственных цепочек. Более того, продекларировано стремление построить у себя полный комплект фабрик на все проектные нормы, от 45 нм до 5 нм, чего пока нет даже у США. Тем не менее поставлена задача обеспечения полной автономии в разработке и производстве микроэлектроники, поскольку современная политическая обстановка, развернутые против России санкции делают маловероятной возможность построения подобных глобальных цепочек поставок для российских компаний. В силу этих факторов, российская стратегия фактически не предусматривает даже серьезного выхода отрасли на внешние рынки со своей продукцией. Если общий объем производства и продаж на внутреннем и внешнем рынках продукции должен составить 486,4 млрд руб. в 2024 году и 818,8 млрд руб. в 2030 году, то объем продаж этой продукции на внешнем рынке должен составить 20,4 млрд руб. в 2024 году и 48,8 млрд руб. в 2030 году. То есть около 5% от общего объема производства.

Надо сказать, что ряд авторитетных отечественных экспертов в области полупроводниковой промышленности высказывают

обоснованные критические замечания по поводу как содержания вышеперечисленных документов (стратегии развития и дорожной карты), так и предложенных механизмов достижения поставленных целей, например [20, 21].

Тем не менее, очевидно, что для достижения основных целей, продекларированных в стратегии, необходимо найти надежных союзников для своего развития. В первую очередь это Беларусь и, конечно, Китай, не случайно администрация Трампа наложила санкции на ведущие китайские компании — производителей микроэлектроники Fujian Jinhua Integrated Circuit Company и Huawei. А также оказала давление на ведущего мирового производителя фотолитографического оборудования, критически важного для производства микроэлектроники, голландскую компанию ASML, чтобы не допустить продажи этого оборудования китайским производителям микроэлектроники. Все эти действия оправдываются противодействием нерыночной стратегии Китая по развитию своего полупроводникового сектора и его практикой хищения интеллектуальной собственности. Ясно, что Штаты не позволят как Беларуси, так и России приобрести такое оборудование.

Понятно, что США могут составлять свои глобальные планы развития микроэлектроники, не думая о рынках ее сбыта — перед ними весь мировой рынок. России и Беларуси развивать микроэлектронику без одновременного создания соответствующего общего рынка все равно что «пускать деньги на ветер».

Из сравнения стратегий развития микроэлектроники в вышеупомянутых странах можно сделать следующие краткие выводы:

- Стратегия США направлена на завоевание глобального мирового рынка полупроводниковой продукции.
- Стратегия КНР направлена в первую очередь на обеспечение внутреннего рынка и конкуренцию с США на мировом рынке.
- Стратегия ЕС направлена на обеспечение внутренних потребностей стран участниц (чтобы не зависеть от результатов торговой войны США — КНР).
- Стратегии Российской Федерации и Республики Беларусь направлены на обеспечение внутреннего рынка России.

Здесь необходимо отметить один очень важный для нас момент — несмотря на глобальную направленность Стратегии США и наличие многочисленных собственных дизайн-центров, нынешняя американская Стратегия включает в себя и ярко выраженный **компонент интеграции, а именно: в 2022–2025 годах планируется суще-**

ственно увеличить финансирование совместных с союзниками НИОКР в области микроэлектроники [19]. Как и в нашей ситуации (Россия и «союзная» Беларусь), интеграционный компонент Стратегии США — это не политический лозунг, а насущная необходимость и чисто американский прагматизм. Это простое решение позволит США с помощью «союзников» существенно увеличить количество ежегодно разрабатываемых и осваиваемых типоминалов микросхем при том, что США не понесут никаких финансовых затрат на капитальное строительство производств на территориях этих «союзников».

Чтобы понимать важность этого момента, необходимо вспомнить, что только на территории США до принятия указанной Стратегии уже ежегодно разрабатывалось, по данным различных источников, от 5 до 8 тысяч типоминалов микроэлектронных изделий и это в сравнении с более чем скромными (на два порядка) «отечественными» цифрами.

К сожалению, хотя для России таким естественным стратегическим союзником является Беларусь, в российской Стратегии подобный интеграционный компонент отсутствует. Принятие на правительственном и законодательном уровне аналогичного решения позволило бы «по американскому сценарию» как минимум вдвое увеличить суммарную производительность дизайн-центров Союзного государства для решения задачи ускоренного импортозамещения ЭКБ.

АКТИВИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА РОССИИ И БЕЛАРУСИ В ОБЛАСТИ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Современная полупроводниковая промышленность за последние 20 лет трансформировалась в глобальную многоуровневую систему кооперации различных исследовательских институтов, промышленных предприятий, разработчиков технологического оборудования и средств проектирования. При этом не имеет никакого значения ни национальность ученых и специалистов, ни географическое местоположение предприятия (института), главная цель — объединить финансовые, интеллектуальные, материальные ресурсы и различные технологические базы для получения новых знаний, компетенций, материалов и технологий в стремлении сохранить технологическое лидерство в своей завоеванной нише (сегменте) мирового рынка.

Широко известные специалистам полупроводниковые альянсы типа Sematech (в США) и IMEC (в Европе) — только наиболее крупные среди десятков других, успешно функционирующих сегодня в мире.

За те же 20 лет существования Союзного государства России и Беларуси в процессе его развития были достигнуты определенные успехи в установлении взаимовыгодных прямых научных и кооперативных связей между профильными предприятиями аграрного, машиностроительного, военно-промышленного, транспортно-логистического, авиационного, нефтегазодобывающего, энергетического, атомного, космического и многих других секторов науки и промышленности. По основным из этих направлений за прошедший период были подписаны соответствующие межведомственные решения, протоколы, меморандумы и межправительственные соглашения.

Аналогичные меморандумы, протоколы, соглашения были подписаны и успешно реализованы и в области военно-технического сотрудничества, совместной охраны границ, борьбы с терроризмом и экстремизмом и многое другое.

Еще в 2018 и 2019 годах в работах [8, 9] мы писали о необходимости принятия соответствующего соглашения в области микроэлектроники.

В 2021 году наконец дошла очередь и до радиоэлектронного комплекса. Были подготовлены два нормативно-правовых документа, направленных на активизацию сотрудничества в этой стратегической области:

- «План совместных действий по организации взаимовыгодного сотрудничества в отдельных сферах промышленности», утвержденный Заместителем Премьер-министра Республики Беларусь Ю. В. Назаровым и Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации Ю. И. Борисовым.
- «Программа совместных действий в области развития микроэлектронных технологий, проектирования и производства ЭКБ и электронного машиностроения», согласованная Минпромторгом РФ и Министерством промышленности РБ.

Во исполнение вышеназванного «Плана совместных действий по организации взаимовыгодного сотрудничества в отдельных сферах промышленности» были сформированы белорусско-российские рабочие группы по направлениям «Радиоэлектроника и ее компоненты в космической отрасли» и «Радиоэлектроника и ее компоненты, электронное машиностроение». В 2021 году проведены первые совещания этих групп с привлечением широкого круга российских и белорусских экспертов.

Так, в ходе первых совещаний рабочей группы по направлению «Радиоэлектроника и ее компоненты в космической отрасли» были обсуждены вопросы проектиро-

вания и организации изготовления ряда типоминалов импортозамещающей ЭКБ космического назначения, определен примерный перечень перспективных ИМС, предлагаемых к разработке в интересах российских предприятий, начата разработка эскизных проектов ТЗ на импортозамещающую космическую ЭКБ.

«Программой совместных действий в области развития микроэлектронных технологий, проектирования и производства ЭКБ и электронного машиностроения» предусмотрен целый комплекс мероприятий, направленных:

- на выработку эффективных механизмов встраивания белорусских предприятий в структуру решения задач Российской Федерации в области микроэлектроники, в том числе обмен информацией по возможностям в области производства и проектирования и перечнями номенклатуры ЭКБ планируемой к импортозамещению;
- на активизацию прямых связей между российскими и белорусскими предприятиями через подписание соглашений о конфиденциальности, меморандумов о сотрудничестве, дорожных карт и протоколов о намерениях;
- на реализацию опытно-конструкторских работ в рамках программ Союзного государства, государственных программ Республики Беларусь и Федеральных целевых программ Российской Федерации по номенклатуре изделий, требующих импортозамещения.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА В ОБЛАСТИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Принимая во внимание тот факт, что отсутствие необходимой номенклатуры ЭКБ отечественного производства в условиях внешнеполитической нестабильности и усиливающегося санкционного давления несет реальные угрозы реализации программы освоения космического пространства, национальной и технологической безопасности Республики Беларусь и Российской Федерации, а также учитывая, что вышеупомянутые НИОКР будут выполняться в интересах обоих государств, организация их выполнения будет реализована в том числе и в рамках новой научно-технической программы Союзного государства.

Программы Союзного государства России и Беларуси в принципе являются одним из наиболее эффективных механизмов организации научно-технического сотрудничества и объединения усилий обеих стран для создания

перспективной ЭКБ, в том числе и для нужд национальной безопасности.

Так, в период с 2000 по 2021 год холдинг «ИНТЕГРАЛ» принял участие в выполнении заданий по 11 научно-техническим программам Союзного государства:

- «База»;
- «Скиф»;
- «Триада»;
- «Космос-СГ»;
- «Космос-НТ»;
- «Функциональная СВЧ-электроника-2»;
- «Основа»;
- «Союзный тепловизор»;
- «Мониторинг-СГ»;
- «Технология-СГ»;
- «Автоэлектроника».

В рамках указанных программ Союзного государства была создана импортозамещающая ЭКБ для стратегически значимых радиоэлектронных систем для реализации социально значимых проектов Союзного государства с использованием двойных технологий, которые обеспечивают создание конкурентоспособной продукции в сравнении с мировыми аналогами.

Разработанные изделия нашли применение в следующей аппаратуре и системах:

- высокопроизводительные вычислительные комплексы для автоматизированных систем (космического, воздушного и наземного применения);
- АСУ атомных станций;
- унифицированные электронные системы управления комплексов бортового оборудования космической и авиационной техники;
- системы управления летательными аппаратами, наземные контрольно-диагностические системы бортового оборудования, бортовые системы сбора и обработки данных;

Так, в ходе реализации мероприятий программы «База» были освоены в серийном производстве холдинга «ИНТЕГРАЛ» 66 типонаименований интегральных микросхем, а также ряд новых технологических процессов и операций, а в рамках программы «Основа» созданы 87 типов новых микросхем и ряд новых технологических процессов и библиотек проектирования.

В ходе выполнения программ Союзного государства «Технология СГ», «Автоэлектроника» ОАО «ИНТЕГРАЛ» также разработало более 20 новых типов изделий электронной техники.

Еще одной проблемой, решение которой могло бы повысить эффективность программ Союзного государства и расширить сферы их применения, является отсутствие согласованного механизма управления собственностью

на уровне Союзного государства, что пока не позволяет использовать Союзные программы для создания новых производств и технического перевооружения.

И наконец, Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 65 от 02.02.2022 г. был одобрен проект «Соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в области развития микроэлектронных технологий, проектирования и производства электронной компонентной базы и электронного машиностроения». «Одобрить проект соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в качестве основы для проведения переговоров», — отмечается в постановлении белорусского правительства.

Министерство промышленности Республики Беларусь уполномочено на проведение дальнейших конкретных переговоров по проекту этого соглашения и его подписание.

Хотя финансовые ресурсы, выделяемые в Республике Беларусь на развитие радиоэлектронного комплекса, намного скромнее, чем предусмотренные российской Стратегией, нельзя сказать, что это направление в республике полностью лишено внимания и поддержки белорусского правительства.

Более детально текущее состояние и перспективы развития белорусской микроэлектроники рассмотрены ниже в статье «Стратегия развития белорусской микроэлектроники на период 2022-2025 годов». Как показано в этой статье, за последние годы в Беларуси созрели достаточно весомые предпосылки для ускорения интеграционных процессов в области микроэлектроники, а именно:

- создан и успешно функционирует инновационно-промышленный кластер «Микро-, опто-, СВЧ-электроника и оптика», объединяющий промышленные предприятия, вузы и академические институты, специализирующиеся в этой области;
- созданы и активно функционируют более 90 целевых отраслевых лабораторий, укомплектованных с помощью безвозмездной государственной поддержки самым современным аналитическим и технологическим оборудованием, в том числе девять из них специализируются в области микроэлектроники и ее приложений. В результате их деятельности уже получен ряд результатов мирового уровня;
- публикации белорусских ученых в области микроэлектроники и ее приложений (монографии, справочники, руководства

по проектированию микросхем, методы обеспечения кибербезопасности микросхем для доверенных аппаратных платформ) переведены на английский, французский и другие языки мира и широко цитируются зарубежными исследователями;

- на практике отработаны нормативно-правовые и финансовые механизмы реализации совместных научно-технических проектов в рамках программ Союзного государства.

НЕКОТОРЫЕ НЕОЧЕВИДНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ КЛОНИРОВАНИЯ БЕЛОРУССКОЙ ЭКБ

Необходимость подписания вышеупомянутого межгосударственного соглашения в области микроэлектроники обусловлена в том числе рядом негативных моментов, связанных с отсутствием синхронизированной политики в области разработки импортозамещающей ЭКБ. Прежде всего, это касается фактов дублирования (клонирования) белорусских микросхем, что в итоге приводит к целому ряду неочевидных на первый взгляд последствий стратегических просчетов в политике Союзного государства в этой сфере.

Практически все российские полупроводниковые заводы в период с 2010 по 2021 год дублировали «интеграловские» изделия, которые пользуются наибольшей популярностью у предприятий российского радиоэлектронного промышленного комплекса.

Например, из 65 типонаименований стандартной серии 1533 логических микросхем, разработанных в ОАО «ИНТЕГРАЛ», 42 типонаименования были воспроизведены ПАО «Микрон». Аналогично, из 31 типа микросхем серии 133 ПАО «Микрон» воспроизведен 21 типонаименование.

АО «Ангстрем» также выпускает ряд микросхем серий 1554 ТБМ и 1594 Т, разработанных ранее ОАО «ИНТЕГРАЛ». Серию 1564 из девяти разработанных типонаименований изготавливает АО «Экситон» с ОАО «ОКБ Экситон». Аналогичная ситуация наблюдается и в области дискретных полупроводниковых приборов.

Таким образом, за последние 5–7 лет в РФ было воспроизведено более 80 типонаименований микросхем и полупроводниковых приборов, разработанных и серийно изготавливаемых на производственных линиях белорусского холдинга в интересах российского ОПК и космического приборостроения.

Очевидно, что выбор конкретных типов клонируемых изделий определялся маркетинговыми службами предприятий исходя из объема их продаж на российском рынке:

для клонирования выбирались наиболее ходовые и рентабельные изделия.

Образно говоря, можно сказать, что, несмотря на некоторые «коммерческие» выгоды, полученные отдельными полупроводниковыми заводами, в целом для РЭП РФ фактически была потеряна возможность разработки как минимум 80 действительно новых типономиналов, ведь в случае оптимального планирования за эти 5–7 лет разработчики российских полупроводниковых заводов могли бы спроектировать и внедрить как минимум 80 новых типов микросхем — зарубежных аналогов.

Бюджету РФ также фактически был нанесен существенный ущерб в размере не менее полумиллиарда рублей, затраченных на разработку не «иностранного», а «белорусского» клонов микросхем, включенных в разрешенный Перечень МНИИРИП.

Принимая во внимание тот факт, что в среднем за этот период в РФ за год разрабатывалось не более 20–30 типов новых микросхем, это означает, что, образно говоря, 3–4 года основные российские дизайн-центры фактически были «выключены» из программы реального импортозамещения в сфере микроэлектроники.

В то же время внутренними документами холдинга «ИНТЕГРАЛ» категорически запрещается дублирование и клонирование микроэлектронных изделий, разрабатываемых и производимых в Российской Федерации.

В связи с этим здесь уместно привести цитату нынешнего заместителя министра промышленности и торговли России В. В. Шпака [22]: *«Надо объединяться: конкурировать не между собой, а с иностранцами, при этом сначала надо вернуть себе свой рынок, а потом идти на внешний».*

Поэтому представляется целесообразным в материалы вышеупомянутого «Соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в области развития микроэлектронных технологий, проектирования и производства электронной компонентной базы и электронного машиностроения» включить пункт, поручающий соответствующему госрегулятору РФ выпустить нормативно-правовой документ, запрещающий дублирование белорусских микроэлектронных изделий (и наоборот).

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АКТИВИЗАЦИИ СОТРУДНИЧЕСТВА

Как следует из результатов вышеизложенного анализа сложившейся ситуации,

к приоритетным направлениям активизации сотрудничества в сфере микроэлектроники необходимо отнести:

- РАЗРАБОТКУ и реализацию единой синхронизированной государственной политики в области формирования перечней микросхем и полупроводниковых приборов, планируемых к разработке и освоению в целях импортозамещения ЭКБ, исключая дублирование НИОКР и клонирование белорусской ЭКБ.
- Разработку и введение в действие нормативно-правового механизма реализации в контексте Союзного государства «американской» концепции финансирования совместных с их союзниками НИОКР в области полупроводниковой промышленности.
- С целью повышения эффективности решения актуальной проблемы создания отечественных доверенных программно-аппаратных платформ для критических инфраструктур РФ разработать механизм включения в состав исполнителей формируемой «Комплексной научно-технической программы (КНТП) по созданию и обеспечению безопасности критических инфраструктур» белорусских предприятий в части использования белорусской доверенной ЭКБ.
- В сжатые сроки разработать и представить в правительства РФ и РБ совместную программу разработки и организации отечественного производства:
- полупроводниковых материалов во всех необходимых формах (поли- и монокристаллический кремний, карбид кремния, монокристаллический алмаз), эпитаксиальных структур кремния, КНИ (кремний на изоляторе), КНС (кремний на сапфире), КСДИ (кремниевые структуры с диэлектрической изоляцией), гетероэпитаксиальных структур А3В5, А2В6, КРТ (гетероэпитаксиальные структуры тройного соединения кадмий-ртуть-теллур) и др.;
- расходных технологических материалов, в том числе кислот, растворителей, травителей, специальных газов и смесей газов, металлоорганических соединений, высокочистых металлов и сплавов, мишеней, композиционных металлических материалов, клеев, паст, компаундов, лаков, флюсов, герметиков.
- Принимая во внимание положительный опыт и инновационные технические решения, полученные в результате деятельности белорусского микроэлектронного кластера и сети специализированных в области микроэлектроники отраслевых

лабораторий, организовать систему (механизм) взаимодействия и использования этих результатов российскими партнерами (институты России, Академии наук, микроэлектронные предприятия РФ).

- Создать единую библиотеку сложнфункциональных блоков (СФ-блоков) и предоставлять российским и белорусским дизайн-центрам физические (топологические) СФ-блоки на безвозмездной основе, что позволит существенно сократить сроки проектирования и, соответственно, нарастить темпы освоения новых изделий микроэлектроники.
- Создать единую систему хранения конструкторской и технологической документации, куда будут депонироваться КД и ТД на изделия и процессы, разработанные по государственному заказу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие собственного микроэлектронного производства сегодня является ключевым элементом технологической независимости и конкурентоспособности национальной промышленности и играет важную роль в обеспечении обороноспособности и экономической безопасности современного государства.

В последние годы наблюдается существенное усиление лидирующей роли микроэлектроники в развитии научно-технического процесса.

Вопросы развития микроэлектроники в индустриально развитых странах находятся под жестким контролем правительств, хотя стратегии развития существенно различаются: Стратегия США направлена на завоевание мирового рынка, Стратегия КНР в первую очередь ориентирована на обеспечение внутреннего рынка, Стратегии ЕС и России направлены на обеспечение собственных внутренних рынков.

Несмотря на глобальную направленность Стратегии США и наличие многочисленных собственных дизайн-центров, американская Стратегия включает в себя и ярко выраженный компонент интеграции, а именно: планируется существенно увеличить в 2022–2025 годах финансирование совместных с их союзниками НИОКР в области микроэлектроники. Как и в нашей ситуации (Россия и «союзная» Беларусь) интеграционный компонент Стратегии США — это не политический лозунг, а насущная необходимость и чисто американский прагматизм. Это простое решение позволит США с помощью союзников существенно увеличить количество ежегодно разрабатываемых и осваиваемых типономиналов микросхем.

Хотя для России таким естественным стратегическим союзником является Беларусь, в российской Стратегии подобный интеграционный компонент сегодня отсутствует. Принятие на правительственном и законодательном уровне аналогичного решения позволило бы «по американскому сценарию» как минимум вдвое увеличить эффективную производительность дизайнеров Союзного государства для решения критической для текущего момента задачи ускоренного импортозамещения ЭКБ.

Резкое обострение внешнеполитической ситуации, санкционный подход в области высоких технологий, существенная зависимость от поставок импортных материалов для микроэлектроники несут в себе существенные угрозы для микроэлектронных отраслей России и Беларуси. Необходимым условием успешного решения задачи развития отечественной микроэлектроники является объединение усилий российских и белорусских предприятий, вузов и академических институтов.

За 20 лет существования Союзного государства России и Беларуси были достигнуты определенные успехи в научно-технической кооперации. Научно-технические программы Союзного государства показали себя эффективным инструментом организации сотрудничества в области разработки полупроводниковых технологий и изделий микроэлектроники. Однако есть ряд вопросов по координации научно-технической деятельности, в частности, вопрос исключения дублирования разработок пока остается нерешенным.

В 2021 году подписан ряд российско-белорусских документов по активизации сотрудничества, но особые надежды возлагаются на проект «Соглашения между Правительством Республики Беларусь и Правительством Российской Федерации о сотрудничестве в области развития микроэлектронных технологий, проектирования и производства электронной компонентной базы и электронного машиностроения». Ожидается, что его подписание придаст дополнительный импульс развитию российско-белорусского сотрудничества в области микроэлектроники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоус А. И., Солодуха В. А. Основные тенденции развития, проблемы и угрозы современной микроэлектроники. В сб. «Живая электроника России». 2019.
2. Шлак В. В. Развитие отечественной электроники — не прихоть, а острая необходимость//ЭЛЕКТРОНИКА: наука, технология, бизнес. 2019. № 6.
3. Белоус А. И., Солодуха В. А. Доверенная ЭКБ для доверенных аппаратно-программных платформ: проблемы и пути решения (в 2-х частях)//ЭЛЕКТРОНИКА: наука, технология, бизнес. 2021. № 3, 4.
4. Белоус А. И., Солодуха В. А. Основы кибербезопасности. Стандарты, концепции, методы и средства обеспечения. М.: Техносфера, 2021.
5. Белоус А. И., Солодуха В. А. Кибероружие и кибербезопасность. О сложных вещах простыми словами. Вологда, Инфра-Инженерия, 2020.
6. Белоус А. И. Кибербезопасность объектов топливно-энергетического комплекса. Концепции, методы и средства обеспечения. Вологда, Инфра-Инженерия, 2020.
7. Немудров В. Г. Без самодостаточной отечественной микроэлектроники не сохранить неополитическую независимость России//ЭЛЕКТРОНИКА: наука, технология, бизнес. 2017. № 6.
8. Белоус А. И., Солодуха В. А. Современная микроэлектроника: тенденции развития, проблемы и угрозы//Компоненты и технологии. 2018. № 10.
9. Белоус А. И., Солодуха В. А. Основные тенденции развития и проблемы современной микроэлектроники. В сб. «Живая электроника России». 2019.
10. Белоус А. И., Пилипенко В. А., Турцевич А. С., Шведов С. В. Мировые тенденции развития микроэлектроники и место Республики Беларусь в этом

процессе//Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2012. № 4.

11. Белоус А. И., Солодуха В. А. Состояние и перспективы развития микроэлектроники в Республике Беларусь//НАНОИНДУСТРИЯ. 2020. Т. 13. № S4 (99).
12. Belous A., Saladukha V., Shvedau S. Space Microelectronics Volume 1: Modern Spacecraft Classification, Failure, and Electrical Component Requirements. Space Microelectronics Volume 2: Integrated Circuit Design for Space Applications. London, Artech House, 2017.
13. Belous A., Saladukha V., Shvedau S. High Velocity Microparticles in Space. Springer Nature Switzerland AG, 2019.
14. Belous A., Saladukha V. High-Speed Digital System Design. Art, Science and Experience. Springer Nature Switzerland AG, 2020.
15. Belous A. Handbook of Microwave and Radar Engineering. Springer International Publishing, 2021.
16. Belous A., Saladukha V. Viruses, Hardware and Software Trojans. Springer Nature Switzerland AG, 2020.
17. Belous A. Cybersecurity in the 21-st Century (12 book series). Kindle Edition.
18. Belous A., Saladukha V. The Art and Science of Microelectronic Circuit Design. Springer Nature Switzerland AG, 2022.
19. Ezel S. An Allied Approach to Semiconductor Leadership//Information Technology & Innovation Foundation. 2020. September.
20. Бондарь Д. Иллюзии заявленного роста экономики. Стоит ли ожидать его от «нового» правительства России?//Электронные компоненты. 2020. № 2.
21. Бондарь Д. Полупроводниковая микроэлектроника — 2020. Часть 2. Российская микроэлектроника и ее фантомные цели//Электронные компоненты. 2021. № 1.
22. www.ruskline.ru/opp/2018/aprel/13/vasilij_shpak_ne_stoit_dogonyat_nado_staratsya_operezhat