

Формирование подходов к разработке отечественных САПР СБИС

В. Дождѐв¹, И. Кузьменко², С. Сафронов³,
А. Переверзев, д.т.н.⁴, А. Коршунов, к.т.н.⁵

УДК 004.31 | ВАК 2.2.2

Развитие отечественной микроэлектронной отрасли невозможно без современных систем автоматизированного проектирования, а обладание независимыми инструментами проектирования СБИС и соответствующими компетенциями по их доработке и поддержке является необходимым элементом технологического суверенитета. Сложившиеся сегодня в стране условия сделали возможным и необходимым создание экосистемы отечественных САПР. В статье обсуждаются тенденции развития современных инструментов проектирования СБИС, структура мирового рынка САПР, а также перспективы, организационные подходы и основные направления разработки отечественных САПР. Материал статьи частично изложен в рамках доклада на XIII Форуме по цифровизации оборонно-промышленного комплекса России (сборник докладов ИТОПК-2024, с. 144–146).

ВВЕДЕНИЕ

Современные промышленные системы автоматизированного проектирования (САПР, EDA) обеспечивают разработку интегральных схем, печатных плат и электронных модулей различной сложности и обычно состоят из десятков инструментов, объединенных в сквозной маршрут проектирования. Характеристики САПР интегральной микроэлектроники, включая поддержку актуальных технологических процессов, играют критически важную роль в обеспечении функционирования всей отрасли микроэлектроники. Разработка каждого инструмента должна опираться на специальные знания и модели, которые учитывают принципиальные отличия задач на разных этапах проектирования – от эмуляции работы процессора до моделирования процесса фотолитографии. Каждое направление требует глубокой технической экспертизы, длительной разработки и координации взаимодействия «разработчик САПР–дизайн-центр–производство».

При этом значительная часть таких решений сегодня сосредоточена в рамках небольшого числа зарубежных компаний, контролируемых США, что создает риски как технологической, так и политической зависимости. Часть этих рисков последовательно реализуется не только для России, но и для других стран [1].

В зависимости от маршрута проектирования требования к инструментам САПР могут значительно отличаться, при этом часть инструментов может быть использована в разных маршрутах, а часть будет специфичной для конкретного маршрута. Как правило, решением таких узких задач занимаются отдельные научные и инженерные коллективы, и мировая практика показывает, что конечными бенефициарами этого процесса являются компании-интеграторы, которые собирают маршрут и команды разработчиков с целью организации технической поддержки и их дальнейшего развития.

Другой важной тенденцией в современных САПР микроэлектроники является активное внедрение средств на основе искусственного интеллекта, нацеленных на ускорение проектирования и автоматизацию поиска оптимальных решений. Также растет интерес к проектам, в рамках которых мировым сообществом развиваются САПР для проектирования СБИС на основе открытых исходных кодов, позволяющие снизить барьер входа в отрасль, а также повысить качество подготовки специалистов.

Однако, многие этапы проектирования ЭКБ для критической инфраструктуры требуют полного контроля и доверия к инструментам, что невозможно без собственных решений.

¹ Минпромторг России, директор департамента цифровых технологий.

² Минпромторг России, заместитель директора департамента цифровых технологий.

³ ФГАУ «ЦИТ», руководитель направления отдела «Проектный офис импортозамещения промышленного ПО».

⁴ НИУ МИЭТ, проректор по инновационному развитию, председатель рабочей группы по САПР Минпромторга России.

⁵ НИУ МИЭТ, доцент.

Отечественная микроэлектронная отрасль не может устойчиво развиваться, опираясь на внешние инструменты, официальный доступ к которым уже ограничен, а возможность обновлений и технической поддержки существенно затруднены. При этом разработка полного комплекса собственных САПР – крайне ресурсоемкий и сложный процесс, требующий системной государственной поддержки и стратегического планирования. Однако обладание независимыми средствами проектирования (включая компетенции по их доработке и поддержке) – один из необходимых элементов технологического суверенитета. Без собственных САПР невозможно гарантировать безопасность, воспроизводимость и полный контроль над жизненным циклом критически важной ЭКБ. Таким образом, развитие отечественных САПР – необходимое условие технологической независимости отрасли и ее устойчивого будущего.

МИРОВОЙ РЫНОК САПР И ЗАДЕЛЫ В РОССИИ

Существует множество подходов к классификации инструментов САПР, в том числе по функциональности инструмента, этапам проектирования, используемым технологиям или уровню абстракции. В рамках данной статьи целесообразно использовать классификацию по объекту проектирования, поскольку такой подход позволяет наглядно связать инструменты с конечной продукцией, учесть специфику требований к проектированию и отразить структуру реальных маршрутов проектирования.

К ключевым маршрутам проектирования можно отнести следующие (в скобках отмечены компании-разработчики САПР, занимающие основную долю рынка в соответствующем маршруте):

- цифровые интегральные схемы (Synopsys, Cadence, Siemens);
- аналоговые интегральные схемы (Cadence, Siemens);
- СВЧ интегральные схемы и гибридные интегральные схемы (Cadence, Synopsys, Siemens, Keysight);
- приборно-технологическое моделирование (Synopsys, Silvaco);
- фотомаски и подготовка управляющей информации для их изготовления (Siemens, Synopsys, Cadence);
- подложки, корпуса интегральных схем и электронных модулей уровня системы в корпусе (Cadence, Synopsys, Siemens);
- СВЧ антенны и устройства (Cadence, Synopsys, Keysight, Dassault);
- печатные платы (Siemens, Cadence, Altium).

При этом также необходимо наличие специализированных инструментов САПР, не привязанных к конкретному маршруту, – например инструменты для анализа надежности, управления данными и проектным окружением, портирования топологий, характеристики библиотек, компиляторов памяти, СФ-блоков и т.п., а также

специализированные маршруты, например для МЭМС, оптоэлектроники и фотонных ИС.

В настоящее время мировой рынок САПР для микроэлектроники поделен между тремя компаниями: Synopsys, Cadence, Siemens EDA, совокупная доля которых составляет более 90% рынка. Все лидеры ведут разработки с 1980-х годов и за это время смогли сконцентрировать у себя основные ресурсы. Например, компания Synopsys (более 20 тыс. сотрудников) поглотила более 100 компаний. В то же время мировой рынок САПР микроэлектроники (без учета СФ-блоков) относительно невелик. По оценкам аналитиков в среднем его объем составляет 2% от всей отрасли рынка микроэлектроники [2], что ограничивает его привлекательность для новых участников. Доминирующее положение «большой тройки» складывалось на протяжении десятилетий, и его сохранение заложено в бизнес-стратегии компаний, что подтверждается постоянными поглощениями более мелких участников [3]. Одним из наиболее ярких примеров за последние годы стало слияние компаний Ansys и Synopsys [4]. При этом возможности изменения такого положения для продвинутых техпроцессов не просматривается в силу ряда факторов [2]:

- масштаб и разнообразие проблем – мелкие компании и стартапы в области САПР, как правило, могут сфокусироваться только на части этапов проектирования и не в состоянии собрать компетенции для создания продукта, обеспечивающего сквозной маршрут проектирования;
- сложность перехода дизайн-центров с отлаженными маршрутами проектирования и верификации с одних инструментов на другие;
- ограничение со стороны фабрик – как правило, производства интегральных схем готовы сотрудничать с ограниченным числом разработчиков САПР, соответствующих потребностям основной доли потребителей.

В России с 2022 года сложились условия, которые привели к тому, что все три фактора изменились. Во-первых, уход с отечественного рынка зарубежных компаний сделал доступным кадровый ресурс квалифицированных разработчиков, которые обладают компетенциями в рамках многих этапов проектирования. Во-вторых, дизайн-центрам необходима возможность полноценного использования САПР, включая поддержку и доработку. В-третьих, ставящиеся в России технологические процессы теперь лишены поддержки зарубежных вендоров САПР. Сложившиеся условия сделали возможным и необходимым создание экосистемы отечественных САПР.

Отметим, что проблему зависимости от ведущих компаний-вендоров САПР значительно раньше начали решать в Китае: в настоящее время существует более 50 китайских компаний в области разработки САПР – от публичных

компаний, таких как Empyrean Technology с сотнями сотрудников, до небольших стартапов [5]. Ряд предприятий был основан после 2018 года, когда усилилось технологическое соперничество между США и Китаем, и были введены значительные ограничения для таких компаний, как Huawei. Начиная с 2021 года некоторые китайские компании (Empyrean Technology, Primarius Technologies, Semitronix) прошли процедуру первичного размещения (IPO) и были оценены в 2,4–8,4 млрд долл.

Китайские представители разработчиков САПР активно участвуют в международных конференциях и ориентированы не только на внутренний рынок [2]:

- 50 % выручки Primarius в 2021 году пришлось на иностранных клиентов;
- Empyrean, Giga-DA, Phlexing, Primarius, Semitronix и Xpeedic являются официальными партнерами производственного подразделения Samsung;
- Amedac, Empyrean, Primarius, S2C и Xpeedic являются членами SEMI.

По прогнозам экспертов, крупнейший разработчик САПР в Китае, Empyrean, сможет сформировать полностью собственный маршрут проектирования для всех технологических норм (включая передовые) к 2030 году [6]. В целом, можно предположить, что в Китае в ближайшие 10 лет появится полноценная собственная экосистема САПР, обеспечивающая поддержку всех доступных техпроцессов.

Другим подходом к развитию САПР является поддержка проектов с открытым исходным кодом, что получает все большее распространение как на Западе (OpenROAD/OpenLANE) [7], так и в Китае (iEDA) [8]. В то же время данный подход тесно связан с предоставлением доступа к технологической информации (комплектam средств проектирования (КСП) или Process Design Kit (PDK), библиотекам элементов) полупроводниковых производств, часто являющейся коммерческой тайной и сдерживающим фактором развития средств проектирования [9]. Использование инструментов с открытым исходным кодом (Free and Open-Source Software, FOSS) в проектировании СБИС и СнК становится все более популярным благодаря их доступности, гибкости и возможности адаптации под конкретные задачи. Проекты типа OpenROAD/OpenLane существенно снижают барьеры входа в отрасль и способствуют образовательным и исследовательским инициативам, а также создают конкурентную экосистему проектирования для ключевых промышленных разработчиков.

Основными преимуществами FOSS являются доступность и прозрачность кода, что критически важно для отрасли, а также сниженная зависимость от лицензионной политики зарубежных разработчиков САПР. Однако использование FOSS сопровождается рядом проблем:

- ограниченная поддержка современных техпроцессов, нехватка инструментов промышленного уровня для всех этапов;

- недостаточная производительность и качество результата;
- отсутствие квалифицированной технической поддержки;
- интеграция решений в промышленные маршруты требует значительных усилий и компетенций.

В России активно использовалось передовое иностранное ПО для всех маршрутов проектирования. Сегодня в стране сохраняется спрос на весь спектр таких инструментов. Однако, высокие трудоемкость и затраты на разработку, а также отсутствие заинтересованности со стороны компаний-потребителей к участию в апробации, привели к минимизации инициатив среди команд разработчиков и, как следствие, к отсутствию системной поддержки данной отрасли.

Известно, что отдельные небольшие группы энтузиастов в университетах и научных организациях проводили такие работы по исследованию и разработке специализированного ПО для разработки ЭКБ. В результате, к началу 2023 года в России остались единичные коллективы, которые способны решать задачи по разработке инструментов, но ввиду ограниченных ресурсов и компетенций не могут взяться за формирование полного маршрута.

Среди отечественных решений, которые обладают высоким уровнем готовности, можно отметить:

- маршрут проектирования печатных плат (DeltaDesign, ООО «Эремекс»);
- инструменты маршрута проектирования аналоговых ИС (без топологического редактора) (САПР «Симика», ООО «Интегральные решения»);
- ряд решений в области проектирования и моделирования СВЧ-компонентов (САПР «Гамма», ООО «Гамма-Тех», ООО «50Ом Технолоджиз»);
- специальные продукты, предназначенные для проектирования на отечественных БМК (НПК «Технологический центр»), компиляторы памяти (ООО «Альфачип»).

С 2022 года отечественные разработчики ЭКБ столкнулись с прекращением оказания услуг по технической поддержке лицензионных продуктов зарубежных вендоров САПР, в том числе в части получения обновлений и улучшений систем. Таким образом, поддержка отечественной школы по созданию САПР для проектирования микроэлектроники важна не только как возможность разработки инструментов, но и с точки зрения обеспечения технологической независимости в области проектирования ЭКБ.

ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ НАПРАВЛЕНИЯ САПР ЭЛЕКТРОНИКИ

В рамках развития кооперации отечественных разработчиков САПР электроники Минпромторгом России в начале 2023 года сформирована рабочая группа по САПР

профильного комитета по научно-технологическому и инфраструктурному развитию Совета по развитию электронной промышленности. В данное время в состав РГ входят 15 членов, представляющих ФОИВ, институты развития, университеты, академические учреждения, дизайн-центры, а также ряд организаций-разработчиков ПО.

Одним из первых результатов РГ САПР в 2023 году стала карта маршрутов проектирования микроэлектроники и электронных модулей, на которой отмечены девять групп маршрутов проектирования: цифровые СБИС; аналоговые ИС; СВЧ МИС; СВЧ антенны и объемные устройства; корпуса и сборки; фотошаблоны; приборно-технологическое моделирование; специальные инструменты и маршруты (МЭМС, фотоника, компиляторы памяти); печатные платы. Также на карте маршрутов представлено более 100 отдельных проектных процедур в рамках каждого маршрута, которые приблизительно соответствуют программным продуктам/модулям, необходимым для их реализации. Разработанная карта маршрутов стала основой для формирования технического задания на научно-исследовательскую работу по созданию дорожной карты развития высокотехнологичного направления «САПР микроэлектроники» на период до 2030 года.

Ключевым принципом для постановки работ стало поэтапное развитие комплексных маршрутов проектирования. Такой порядок обусловлен как необходимостью системного

подхода к формированию и развитию отечественной отрасли САПР микроэлектроники, так и объективными ограничениями ресурсов, инфраструктуры и доступной технологической базы. Основной идеей данной стратегии является поэтапное наращивание функциональности и технологической зрелости маршрутов проектирования в рамках единой дорожной карты развития САПР и Комплексной программы развития электронного машиностроения до 2030 года (рис. 1). Последовательное развитие позволяет минимизировать организационные и технические риски, обеспечить контролируемость процесса и целенаправленно достигать технологической независимости.

Например, развитие маршрутов проектирования для цифровых СБИС, предполагает три основных этапа, каждый из которых рассчитан на два-три года. В рамках первого (2024–2026 годы) обеспечивается возможность проектирования в пределах зрелых норм (до 90 нм включительно), что позволяет сформировать базовую технологическую платформу, апробировать ключевые модули САПР и заложить фундамент для формирования пользовательской среды, включающий в себя подготовку кадров и создания механизмов для последующей технической поддержки. Первый этап критичен для формирования концептуального облика отечественного маршрута, на базе которого в дальнейшем будут развиваться более сложные инструменты и решения.

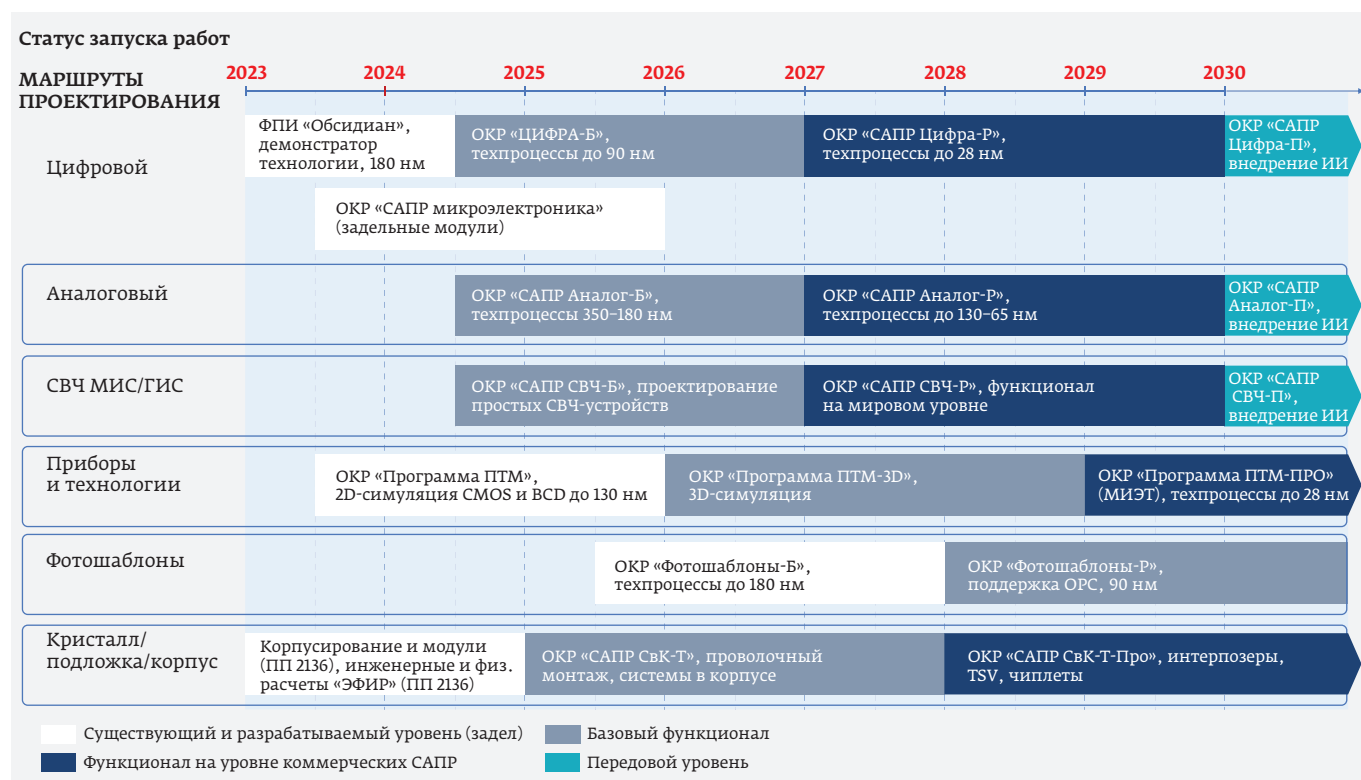


Рис. 1. Дорожная карта работ по созданию отечественных маршрутов

Важнейшей задачей в рамках первой фазы является интеграция ранее полученных результатов по разработке отечественных САПР. В рамках маршрута проектирования ЦИС могут быть интегрированы инструменты высокоуровневого синтеза, статического анализа и физического проектирования. Без создания на базе этих компонентов и разрабатываемых маршрутов целостной экосистемы невозможно обеспечить эффективное внедрение новых инструментов в реальные процессы разработки предприятий отрасли.

В рамках второй фазы (2027–2029 годы) осуществляется переход к разработке САПР, поддерживающих нормы до 28 нм, что соответствует уровню мировой промышленной зрелости 2010-х годов. Здесь акцент делается на повышении степени автоматизации, интеграции и развития возможностей отдельных инструментов и масштабирования производительности. Наконец, третья фаза (2030–2032 годы) ориентирована на достижение мирового уровня проектирования, включающего поддержку

всех актуальных для отечественной промышленности технологических норм, интеграцию ИИ-ориентированных подходов и обеспечение конкурентоспособности отечественных САПР на глобальном рынке.

Привлечение к работам по созданию отечественных САПР потенциальных организаций-потребителей налажено через созданный Минпромторгом России во исполнение поручения Председателя Правительства РФ М.В. Мишустина в рамках Конференции ЦИПР-2022 Индустриальный центр компетенций «Электроника и микроэлектроника» (ИЦК). В состав ИЦК вошли ведущие российские дизайн-центры и предприятия – разработчики и производители ЭКБ и электронных модулей, которые обеспечат тестирование, апробацию и внедрение решений САПР для микроэлектроники и электронных модулей.

Для минимизации рисков дизайн-центров при переходе на новые инструменты проектирования одним из возможных вариантов является проведение отдельных опытно-конструкторских работ по практической апробации

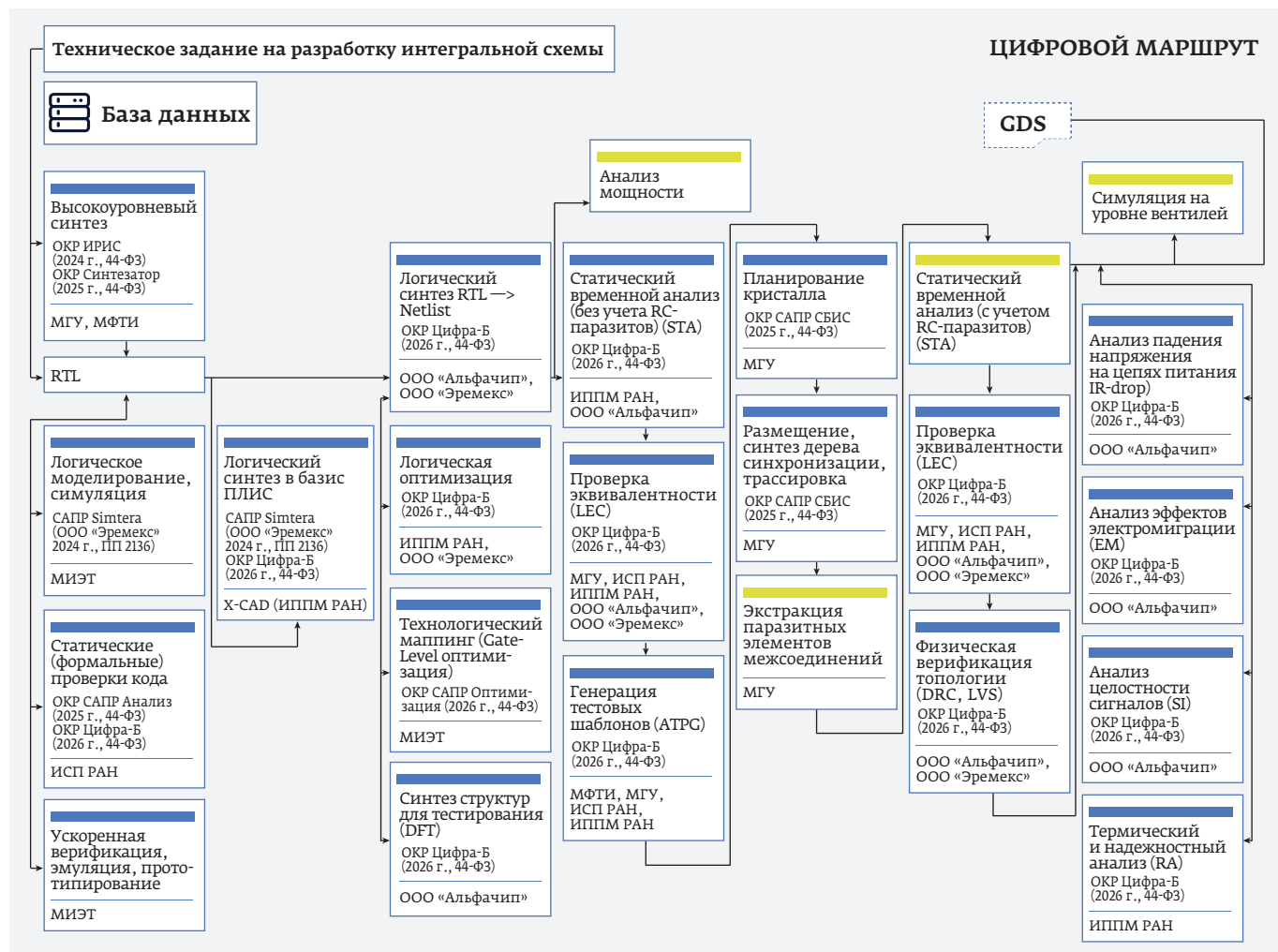


Рис. 2. Маршрут проектирования цифровых СБИС

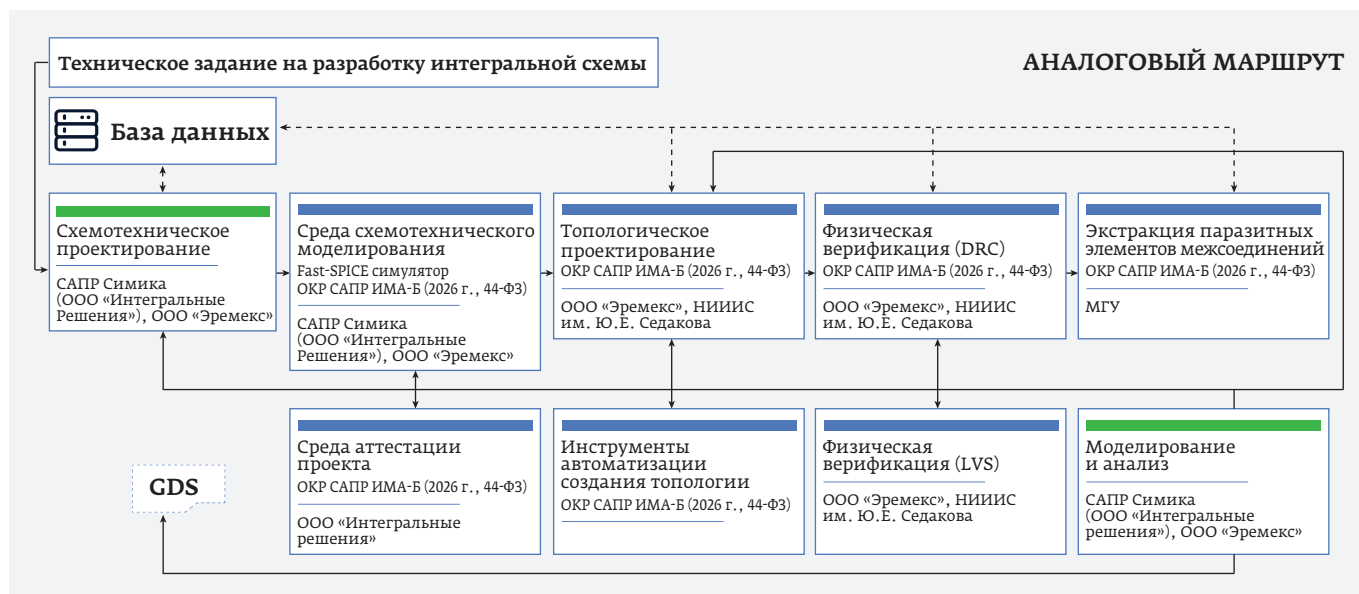


Рис. 3. Маршрут проектирования аналоговых ИС

разработанных САПР-инструментов. Такая апробация должна сопровождаться созданием реально востребованного проекта цифровой СБИС/СНК под конкретный отечественный техпроцесс, что позволяет подтвердить прикладную значимость решений и собрать критически важную обратную связь для дальнейшей доработки инструментов проектирования.

Важно отметить, что государство в лице Минпромторга России оказывает существенную поддержку отрасли, задействуя все доступные инструменты. Учитывая сложность и наукоемкость задач, начальные этапы работ реализуются с использованием механизма прямого финансирования опытно-конструкторских разработок.

Для продуктов, выходящих на рынок, применяются меры субсидирования, направленные на доработку и внедрение программного обеспечения. Тиражирование разработанных решений планируется осуществлять через механизм поддержки особо значимых проектов в рамках ИЦК, о чем упоминалось ранее.

Таким образом, на сегодняшний день существуют меры поддержки на всех стадиях жизненного цикла цифровых продуктов в сфере электроники и микроэлектроники. Минпромторг открыт к дальнейшему развитию этих инструментов в соответствии с потребностями отрасли.

ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАРШРУТОВ

С 2023 года АО «МНТЦ МИЭТ» выполняет ОКР «САПР микроэлектроника» (2023–2025 годы), направленная на создание широкого спектра отдельных средств проектирования – от технологических САПР и специальных инструментов для полупроводниковых производств

до проектирования цифровых ИС. В рамках работы ведется разработка таких инструментов, как:

- программа портирования (миграции) топологий IP-блоков;
- инструмент характеристики цифровых библиотек;
- система двумерного приборно-технологического моделирования;
- высокоуровневый инструментарий разработки СБИС на базе C++;
- инструмент ускоренного синтеза СФ-блоков обработки изображений на базе Python;
- среда статического анализа промышленных форматов (SystemVerilog, SDC, Liberty, UPF);
- система физического проектирования (инструмент размещения и трассировки);
- инструмент оптимизации цифровых СБИС на уровне вентилей.

При выполнении работ сформирована кооперация соисполнителей, включающая в себя как академические учреждения (МГУ, МФТИ, МИЭТ), так и предприятия промышленности (ООО «НМ-Тех»).

В 2024 году дан старт работам по созданию комплексных маршрутов проектирования, поддерживающих основные отечественные техпроцессы. В 2024–2026 годах планируется разработка маршрутов базового уровня для проектирования цифровых СБИС на основе библиотек стандартных ячеек, ПЛИС и БМК (АО «МНТЦ МИЭТ»), аналоговых ИС и СВЧ МИС (АО «НПО КИС»). На рис. 2–4 представлены структуры этих маршрутов проектирования. Также в рамках данных работ формируется основа для развития двух компаний-интеграторов маршрутов: проектирования цифровых ИС и проектирования аналоговых и СВЧ МИС.

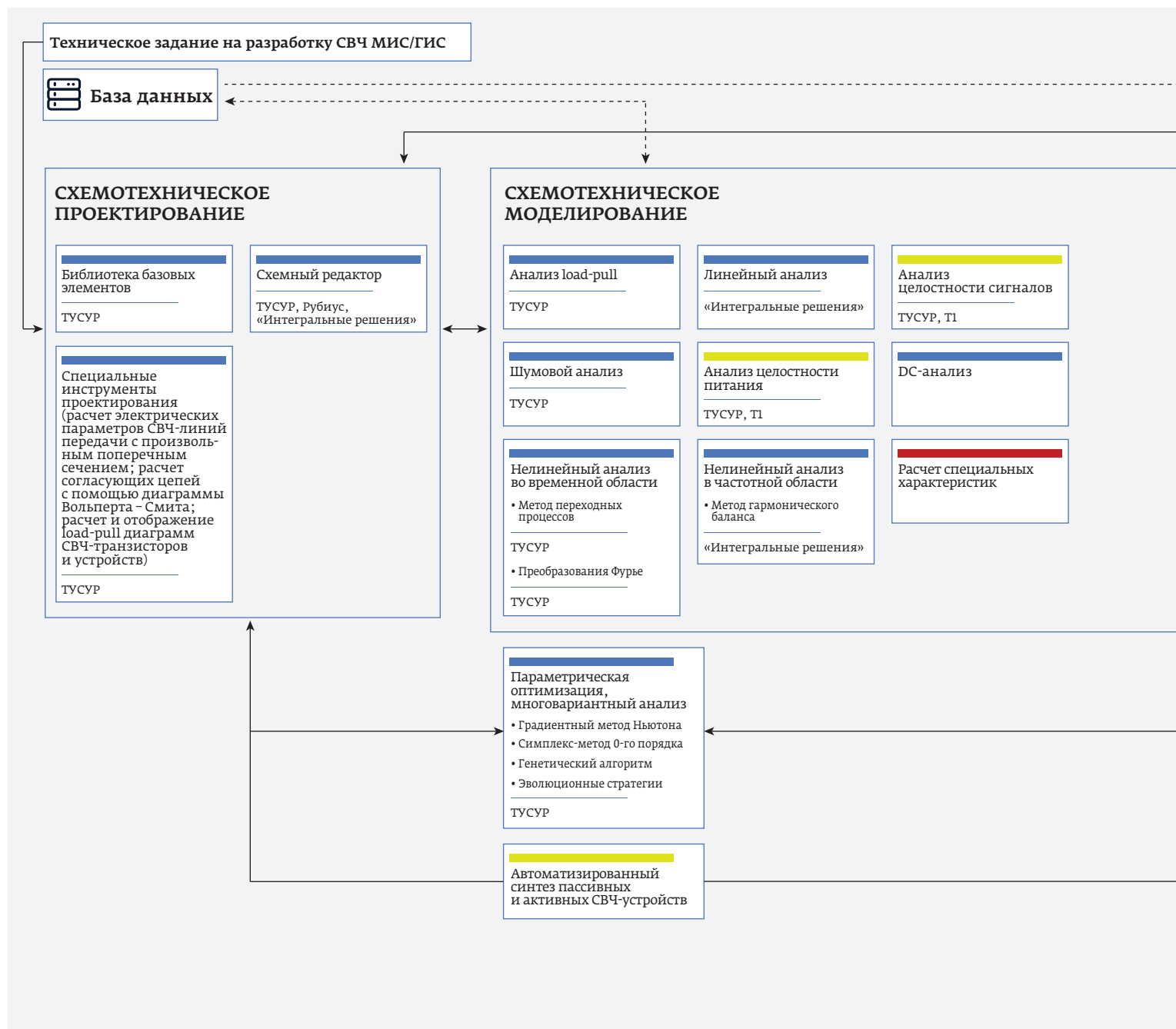


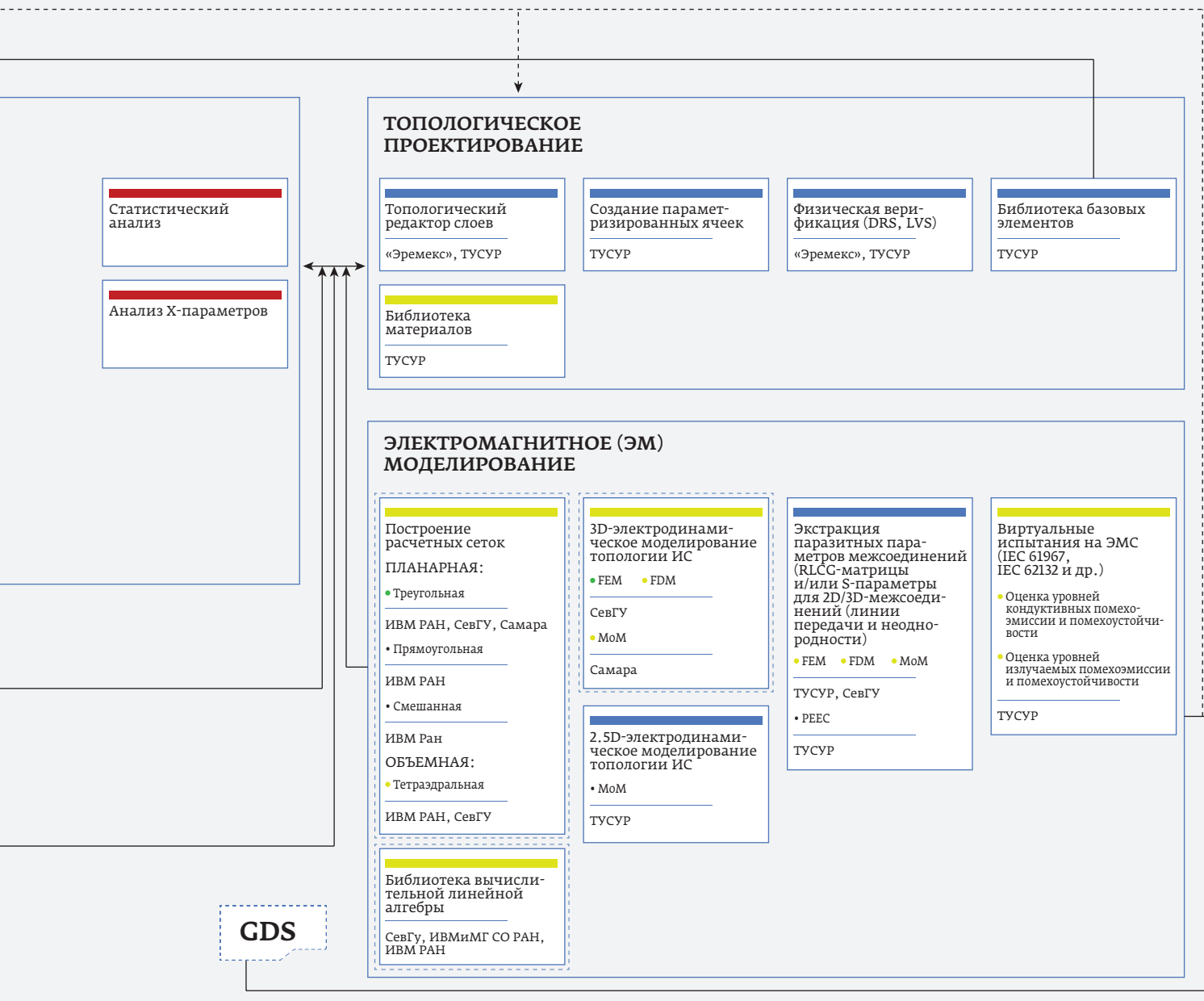
Рис. 4. Маршрут проектирования СВЧ МИС и ГИС

Формирование интеграторов маршрутов САПР имеет критическое значение для успешной реализации проектов по разработке отечественных САПР. Современные САПР СБИС представляют собой сложные гетерогенные решения, проектирование которых требует тесной интеграции инструментов, моделей, библиотек и методов верификации, соответствующих отечественным техпроцессам. Интеграторы должны обеспечить реализацию сквозного, проверенного и документированного маршрута для прохождения полного цикла разработки. Их важнейшей задачей

является интеграция новых разрозненных инструментов в единую среду для минимизации рисков и сокращения времени внедрения новых средств проектирования.

Одновременно предусматривается формирование и развитие пользовательской среды – будут организованы мероприятия по апробации решений, предоставлению тестового доступа, сопровождению пользователей, а также программам обучения и методической поддержке, что обеспечит широкую вовлеченность разработчиков и повышение квалификации специалистов отрасли.

МАРШРУТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЧ МИС/ГИС



Важным элементом пользовательской среды является специализированная подготовка кадров – как разработчиков, так и пользователей новых отечественных САПР. Должны быть разработаны программы повышения квалификации, подготовлены инженерные команды с опытом использования новых САПР, разработаны типовые примеры использования в партнерстве с вузами и предприятиями отрасли.

На решение проблемы кадрового дефицита разработчиков и пользователей новых разрабатываемых САПР электроники ориентирована созданная на базе НИУ МИЭТ передовая инженерная школа «Технологии проектиро-

вания и производства электронной компонентной базы» (ПИШ МИЭТ). Одним из основных направлений ПИШ МИЭТ является разработка образовательных программ, включающих ряд дисциплин по автоматизации проектирования (топологического, схемотехнического, логического), алгоритмам анализа и оптимизации интегральных схем, а также кроссплатформенной разработке ПО.

С 2026 года, по завершении первого этапа работ и ОКР «САПР микроэлектроника», запланировано активное взаимодействие с потребителями – адаптация решений под реальные задачи, доработка инструментов на основе

обратной связи, формирование пользовательских сообществ. Начало формированию профильных тематических коопераций уже положено – весной 2025 года АО «МНТЦ МИЭТ» и МФТИ заключили соглашение, в рамках которого создан специализированный дизайн-сервис по разработке отечественных IP-блоков с использованием российских САПР для проектирования цифровых СБИС.

В рамках разработки маршрута проектирования цифровых СБИС (см. рис. 2) АО «МНТЦ МИЭТ» будет создан программный комплекс, позволяющий проводить проектирование ИС на адаптированных PDK и DDK для техпроцессов АО «Микрон» (HCMOS8D (180 нм), CMOSF8 (180 нм), HCMOS10 (90 нм), SOI250 (250 нм)). Особенностью цифровых маршрутов проектирования в независимости от используемого базиса (заказные СБИС, ПЛИС, БМК) является наличие нескольких общих этапов – разработка и верификация RTL-описания, логический синтез и др., а также специфичная часть, связанная с этапом физического проектирования и финишными проверками. В рамках единой проектной среды, реализуемой в рамках ОКР, обеспечивается возможность унификации и переиспользования ряда программных компонентов маршрутов, а также интеграции с инструментами проектного управления. Единая среда обеспечивает воспроизводимость маршрутов – все этапы проектирования, от описания архитектуры до выгрузки GDS, выполняются с фиксированными наборами настроек, версий ПО и КСП. Прозрачность применяемых инструментов и методик позволяет однозначно верифицировать результаты, что критично для соответствия требованиям стандартизации и дальнейшей интеграции в производственные цепочки. Поддержка хранилища, синхронизированного с системами управления задачами, позволяет отслеживать состояние проектов в реальном времени и минимизировать риски при масштабировании разработки или переходе на новые технологические нормы.

В рамках разработки аналогового маршрута (см. рис. 3) АО «НПО КИС» будет создана САПР аналоговых схем базового уровня (САПР ИМА-Б), включающая в себя такие ключевые компоненты, как:

- среда схемотехнического проектирования;
- программа аналогового моделирования;
- программа отображения и анализа результатов моделирования;
- топологический редактор;
- модули верификации топологии;
- модуль экстракции паразитных параметров элементов аналоговых схем.

САПР ИМА-Б должна обеспечивать выполнение проектирования аналоговых ИС для последующего изготовления на двух фабриках-производителях: филиале РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова» (КСП КМОП-КНИ 0,35 мкм) и АО «Микрон» (CMOSF8, 0,18 мкм).

Разрабатываемая АО «НПО КИС» базовая версия САПР СВЧ ИС-Б ориентирована прежде всего на разработку МИС

на базе технологий группы АЗВ5 (в том числе имеющихся серийных и опытных отечественных техпроцессов GaAs и GaN, опытных техпроцессов InP), а также ГИС. Она будет содержать ключевые компоненты САПР, включая подсистемы схемотехнического и топологического проектирования, ЭМ-моделирования, постобработки и отображения результатов моделирования, встроенную библиотеку стандартных (базовых) СВЧ-элементов и подключенную библиотеку элементов (КСП) для отечественной GaAs-технологии МИС, специальные инструменты проектирования СВЧ-устройств, что обеспечит реализацию базового маршрута проектирования АЗВ5 МИС и ГИС (см. рис. 4).

В заключение отметим, что на площадке РГ САПР продолжается работа по формированию пула перспективных работ на последующие годы. Разработка каждого инструмента САПР – это непрерывный наукоёмкий процесс поиска оптимальных научно-технических решений, опирающийся на самые современные тренды. Перечислим некоторые направления, по которым целесообразна постановка будущих НИОКР по отечественным САПР микроэлектроники: внедрение инструментов искусственного интеллекта в маршруты проектирования, включая задачи в области фотолитографии с поддержкой коррекции эффектов оптической близости; высокоуровневый синтез цифровых СФ-блоков и ЧНК; ПАК для ускорения процессов моделирования для различных маршрутов проектирования; САПР перспективной ЭКБ (ФИС, новые виды памяти и техпроцессы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Cadence, Synopsys sink after US tells EDA companies to halt China sales: report // <https://seekingalpha.com/news/4453142>
2. **Kleinhans J.P.** The EDA Chokepoint Dilemma? Openness, Oligopolies, and China's Ecosystem. – 2022 // https://ucigcc.org/wp-content/uploads/2022/12/kleinhans-working-paper_IGCC-2022-1.pdf
3. <https://semiwiki.com/wikis/industry-wikis/eda-mergers-and-acquisitions-wiki/>
4. <https://semiwiki.com/eda/synopsys/341126-why-did-synopsys-really-acquire-ansys/>
5. **Pao J.** EDA software ban latest blow to China's chip makers // <https://asiatimes.com/2022/08/eda-software-ban-latest-blow-to-chinas-chip-makers/>
6. **Xiao-Ru Wang E., Sophie Yang S., Cacciola S.** An Economic Analysis of the Effects of Stricter, Unilateral U.S. Export Controls for Electronic Design Automation Technology on Chinese Design. Compass Lexecon report commissioned by Cadence // https://downloads.regulations.gov/BIS-2021-0011-0040/attachment_2.pdf
7. <https://github.com/The-OpenROAD-Project/OpenLane>
8. <https://gitee.com/oscc-project/iEDA>

КАЧЕСТВО БЕЗ СОМНЕНИЙ

РЕКЛАМА

Вы давно знаете нас как надежного и проверенного поставщика материалов для электронной промышленности. Сегодня мы перешли на следующий уровень и стали их производителем. Сделанные нами материалы уже применяются более чем в тысяче техпроцессов на российских производствах. Мы убеждены, что современные отечественные материалы не должны уступать ведущим мировым брендам по своим техническим и эксплуатационным характеристикам. И активно работаем над этим — в собственной лаборатории и на нашем производстве в России.

ЭЛТРИН — линейка влагозащитных покрытий для ответственных применений собственного производства. Первое в линейке уретановое влагозащитное покрытие Элтрин У1 является полноценной заменой традиционным и менее технологичным уретановым и эпоксидным покрытиям. Однокомпонентный состав, любой способ нанесения, быстрая полимеризация и эксплуатационные характеристики на уровне лучших мировых продуктов. Чтобы электроника была под надежной защитой.

Сделано нами — сделано на совесть.



ОСТЕК-ИНТЕГРА
Технологические материалы для электронной промышленности
+7 495 788-44-44 | ostec-materials.ru