**О создании отечественных маршрутов проектирования ЭКБ**

**Переверзев Алексей Леонидович**, д.т.н., проректор по инновационному развитию НИУ МИЭТ, председатель рабочей группы по САПР профильного комитета по научно-технологическому и инфраструктурному развитию Совета по развитию электронной промышленности

**1. Введение**

Современные промышленные системы автоматизированного проектирования (САПР) электроники (Electronic Design Automation, EDA) обеспечивают разработку интегральных схем, печатных плат и электронных модулей различной сложности и обычно состоят из десятков инструментов, объединенных в сквозной маршрут проектирования. Разработка каждого инструмента – наукоемкий процесс, опирающийся на специальные знания и модели, которые учитывают принципиальные отличия задач на разных этапах проектирования (от эмуляции работы процессора до моделирования процесса фотолитографии).

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, а 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.

**2. Мировой рынок САПР и заделы в России**

Одним из вариантов классификации инструментов САПР электроники является принадлежность к целевому маршруту проектирования:

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

В настоящее время мировой рынок САПР для разработки микроэлектроники поделен между тремя компаниями: Synopsys, Cadence, Siemens EDA, совокупная доля которых составляет более 90 % рынка. При этом все лидеры ведут разработки с 1980-х годов и за это время смогли сконцентрировать у себя основные ресурсы. Например, компания Synopsys (>16 000 сотрудников) поглотила более 100 компаний.

Проблему зависимости от ведущих компаний пытаются решать в Китае, поддерживая рост собственных компаний в области САПР. Начиная с 2021 года ряд китайских компаний (Empyrean Technology, Primarius Technologies, Semitronix) прошли процедуру первичного размещения (IPO) и были оценены в диапазоне 2,4-8,4 млрд долларов.

Другим подходом к развитию САПР является поддержка проектов с открытым исходным кодом, что получает все большее распространение, как на Западе (OpenROAD/OpenLANE), так и в Китае (iEDA). Данный подход тесно связан с предоставлением доступа к технологической информации (комплектам средств проектирования (КСП) или Process Design Kit (PDK), библиотекам элементов) полупроводниковых производств часто являющейся коммерческой тайной и сдерживающим фактором развития средств проектирования. В настоящее время публично доступны только комплекты средств проектирования для техпроцессов SkyWater 130nm/90nm и GlobalFoundries 180nm.

В России есть спрос на инструменты для всех маршрутов проектирования. При этом на протяжении долгого времени активно поддерживалось использование передового иностранного ПО. Например, в цифровом и аналоговом маршрутах доминируют решения от Сadence, при этом в отдельных случаях используется ПО от Siemens (Calibre) для физической верификации, а также Synopsys для логического моделирования (VCS) и интеграции СФ-блоков (CoreAssembler). В сочетании с отсутствием специализированных программ поддержки отечественных САПР для микроэлектроники это привело к прекращению системной работы в данной области в нашей стране.

Известно, что отдельные небольшие группы энтузиастов в университетах и научных организациях проводили инициативные работы по исследованию и разработке специализированного математического, алгоритмического и программного обеспечения, которое может быть использовано при разработке ЭКБ. В результате в России остались единичные коллективы, которые могут решать задачи по разработке инструментов для отечественных маршрутов проектирования, 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) (Симика, ООО «Интегральные решения»);
* ряд решений в области проектирования и моделирования СВЧ-компонентов («САПР Гамма», СевГУ);
* специальные продукты, предназначенные для проектирования на отечественных БМК («НПК Технологический центр»), компиляторы памяти (ООО «Альфачип»).

Ввиду экономических ограничений с 2022 года отечественные разработчики ЭКБ лишены возможности легально пользоваться разработками лидеров САПР и столкнулись с прекращением оказания услуг по технической поддержке лицензионных продуктов, 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 научно-технического развития и подготовки новых кадров, готовых к созданию ЭКБ нового поколения.

**3. Планы развития направления**

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 (Минпромторг), институты развития (АТР, ФПИ), образование (НИУ МИЭТ), академические учреждения (НИИС, НИИСИ, ИСП РАН) и организации-разработчики ПО (ООО «НМ-Тех», ООО «Альфачип», АО «ЗНТЦ», АО «НПК Исток», АО «НПО КИС», АО «МНТЦ МИЭТ»).

Одним из первых результатов РГ САПР в 2023 г. стала карта маршрутов проектирования микроэлектроники и электронных модулей, предусматривающая развитие основных маршрутов проектирования, классифицированных в соответствии с характером разрабатываемой продукции. На сформированной карте маршрутов проектирования микроэлектроники были отмечены:

1. ключевые маршруты (СВЧ, аналоговый, цифровой, подложек/корпусов, печатных плат фотошаблонов, приборно-технологическое моделирование, ряд специальных маршрутов);
2. отдельные проектные процедуры в рамках каждого маршрута, которые приблизительно соответствуют программным продуктам/модулям.

Карта маршрутов стала основой для постановки работ по разработке САПР по линии Минпромторг. Ключевыми принципами для постановки работ стало поэтапное развитие комплексных маршрутов проектирования (цифровые, аналоговые, СВЧ и т.д.) с включением результатов работ по отдельным инструментам и задельным работам других институтов развития.

Для решения задачи создания отечественной экосистемы проектирования и производства ЭКБ был предложен трехэтапный подход к постановке работ (базовый, развитый и передовой уровни САПР):

1. Создание маршрутов проектирования для существующих отечественных техпроцессов (350-90 нм, 2023-2026);
2. Поддержка перспективных отечественных техпроцессов (до 28 нм, 2026-2029);
3. Достижение мирового уровня характеристик САПР (2030-2032).

Выработанный в ходе заседаний РГ САПР подход стал основой для раздела по САПР электроники Государственной программы развития электронного машиностроения до 2030 г.

Ключевую роль при постановке новых работ и проектов должен играть комплексный подход, включающий в себя построение САПР на базе отдельных инструментов связанных универсальным, расширяемым API. Кроме того необходима унификация используемых форматов данных, поддержка существующих моделей, PDK и библиотек, а также разработка универсальной базы данных для САПР микроэлектроники. В рамках ОКР 2024-2026 г. будут выполнены работы по разработке универсальной БД, поддерживающей все основные виды представлений: от RTL до топологии, совместимой с промышленным стандартом – OpenAccess.

Для решения задачи по систематизации требований к характеристикам разрабатываемых САПР и агрегации имеющихся отечественных компетенций в области САПР была поставлена НИР «Инструменты САПР» (август 2023г. – июль 2024 г., исп. АО «НПО КИС»). Результаты данной НИР должны обеспечить системную постановку ОКР в области САПР микроэлектроники на ближайшие годы.

Для вовлечения в работу по созданию отечественных САПР потенциальных организаций-потребителей на базе Минпромторга России создан ИЦК «Электроника и микроэлектроника» (ИЦК). В состав ИЦК вошли ведущие российские дизайн-центры и предприятия разработчики и производители ЭКБ и электронных модулей. Предприятия, входящие в состав ИЦК, обеспечивают тестирование, апробацию и внедрение решений САПР для микроэлектроники и электронных модулей.

Для решения задачи снижения кадрового дефицита разработчиков САПР электроники на базе НИУ МИЭТ создана передовая инженерная школы «Технологии проектирования и производства электронной компонентной базы». Одним из основных направлений ПИШ является разработка образовательных программ, включающих ряд специфичных дисциплин по автоматизации проектирования (топологического, схемотехнического, логического), алгоритмам анализа и оптимизации интегральных схем, а также кроссплатформенной разработке ПО.

**4. Поставленные работы**

С учетом имеющихся компетенций, для формирования практического задела и развития кадрового потенциала, в августе 2023 года был заключен государственный контракт (исп. АО «МНТЦ МИЭТ») на выполнение ОКР «САПР микроэлектроника», предполагающий выполнение в 2023-2025 г. восьми работ, направленных на создание широкого спектра средств проектирования от технологических САПР и специальных инструментов для полупроводниковых производств до проектирования цифровых ИС, в том числе:

1. Разработка программной платформы портирования топологий IP (соисполнитель ООО «НМ-Тех»);
2. Разработка программной платформы характеризации (соисполнитель ООО «НМ-Тех»);
3. Разработка программы двумерного приборно-технологического моделирования для кремниевых КМОП и BCD технологий (соисполнитель НИУ МИЭТ);
4. Разработка инструмента высокоуровневого синтеза СФ-блоков конечных автоматов (соисполнитель МГУ);
5. Разработка инструмента ускоренного высокоуровневого синтеза СФ-блоков обработки видеосигналов и компьютерного зрения (соисполнитель МФТИ);
6. Разработка системы статического анализа для языка описания аппаратуры (соисполнитель ИСП РАН);
7. Разработка комплекса модулей САПР для отладки, анализа и оптимизации цифровых СБИС на вентильном уровне (исполнитель НИУ МИЭТ)4
8. Разработка модулей физического проектирования САПР СБИС (соисполнитель МГУ).

В настоящее время по заказу ФПИ ООО «Альфачип» выполняет проект «Разработка маршрута проектирования цифровых СБИС на основе САПР с открытым кодом», шифр «Обсидиан» (окончание ОКР в сентябре 2024 г.) Результаты проекта являются основой ОКР «САПР Цифра-Б» (исп. АО «МНТЦ МИЭТ», 2024-2026 гг.), целью которого является разработка маршрутов базового уровня для проектирования цифровых СБИС, на основе библиотек стандартных ячеек, ПЛИС и БМК.

Результаты аванпроекта ФПИ шифр «Виртуоз-А» (исполнитель ООО «Интегральные решения») будут использованы в ОКР по созданию маршрутов проектирования аналоговых (шифр «ИМА-Б») и СВЧ интегральных схем (шифр «СВЧ ИС-Б») с базовым функционалом (гол. исп. АО «НПО КИС», 2024-2026 гг.).

**5. Перспективные работы**

Кроме поддержанных ОКР 2024 года (по цифровому, аналоговому и СВЧ маршрутам) в рабочей группе по САПР идет активная работа по рассмотрению проектов ОКР на 2025 год и далее. На последних заседания были рассмотрены такие проекты в области САПР электроники, как:

1. «Платформа функционально-блочного проектирования электронных устройств» (заявитель ФГБУ «ВНИИР»);

2. «Библиотека моделей ЭКБ» (ФГБУ «ВНИИР»);

3. Модуль для СВЧ электромагнитного моделирования печатных плат» (ООО «Эремекс», СевГУ);

4. Универсальная САПР СВЧ-устройств и антенн», шифр «САПР СВЧ УА – Б» (Консорциума АНО «АПКиС»);

5. Программный комплекс для моделирования ионно-плазменных и электронно-лучевых устройств» (ООО «ТЕСИС»);

6. САПР для проектирования фотонных интегральных схем (Университет ИТМО, ООО «Т1»);

7. САПР для подготовки данных для проектирования и изготовления фотошаблонов (АО «МНТЦ МИЭТ»);

8. САПР для подготовки данных для проектирования и изготовления фотошаблонов (АО «МНТЦ МИЭТ»);

9. Разработка программной платформы характеризации – 2 (ООО «НМ-Тех»)

10. Сквозной маршрут проектирования современных типов корпусов, трехмерных микросборок, многокристальных модулей и систем в корпусе включая применение технологии проводного монтажа (МФТИ, ИНЭУМ им. Брука);

11. Создание моделей ЭКБ для применения в САПР РЭА (АО «ЦКБ «ДЕЙТОН»).