

# Развитие российского производства электроники и возможности инжиниринга

Алексей ТРОШИН,  
к. ф-м. н.

Максим ПИСКАЙКИН  
info@mosep.ru

**В первой части статьи разберемся в глобальных трендах и инвестициях мировых лидеров отрасли и определим, существуют ли в санкционных реалиях объективные сложности для реализации проекта перезагрузки отечественной электронной отрасли. Во второй — попытаемся охарактеризовать положение российской электроники, очертить круг проблем ее модернизации и пути их устранения. В третьей части обратимся к прикладным вопросам промышленного инжиниринга, от которого напрямую зависят возможности создания и модернизации производственных мощностей в сегменте электронной промышленности.**

## Введение

Рост спроса в мировой полупроводниковой промышленности на фоне пандемии и значительного спада фактически во всех не относящихся к медицине и фармацевтическому производству отраслях дает значимые основания для инвестиций в сектор микроэлектроники. По данным исследовательского центра IDC на май 2021 года, продажи полупроводниковых приборов в 2020-м выросли на 10,8%, в текущем году ожидается рост на 12,5%, что составит \$522 млрд. Спрос на полупроводниковые изделия значительно превысил возможности промышленности, и это касается не только передовых топологических норм: в некоторых секторах наблюдается достаточно устойчивый дефицит изделий, изготовленных по «зрелым проектным нормам» на 200-мм пластинах, не хватает подложек и ряда других материалов, со стороны промышленности недостаточно мощностей для тестирования. В докладе SEMI (апрель 2021 года) о состоянии полупроводниковой промышленности поднята проблема дефицита кадров: это десятки тысяч вакансий по всей цепочке поставок (только среди участников SEMI в США зафиксировано 23 000 вакантных рабочих мест). Конечно, ситуацию усугубляет торговая война США и Китая, основным фронтом которой и являются технологии производства электроники. Казалось бы, России ускоренными темпами нужно включаться в новый этап борьбы за нанометровые диапазоны, но картина усложняется при детальном рассмотрении ситуации в отечественной индустрии производства электроники. Первый момент — это инвестиции на модернизацию производственных мощностей. «Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» в дорожной карте анонсирует бюджет в размере 798 млрд руб. (более \$10 млрд).

## Тенденции в мировой индустрии производства электроники

Второй закон Мура, введенный в 1998 году Юджином Мейераном, показывает, что «стоимость фабрик по производству микросхем экспоненциально возрастает с усложнением производимых микросхем». Как и в случае с первым законом, этот вывод был основан не на экономических прогнозах, а на наблюдении за характером развития отрасли: именно в 1990-х годах начался переход полупроводникового производства на модель fabless — foundry (проектирование инте-

гральных схем производится одними компаниями, производство — другими). При этом быстрый рост затрат на создание и поддержание производственных мощностей под новые технологии значимо сократил количество производителей. Так, освоить и поддерживать мощности под 90-нм технологии (минимальная доступная в России производственная технология, освоенная в 2018 году на мощностях компании «Ангстрем-Т») могли 18 компаний. На уровне 65 и 45/40 нм их число сократилось до 14 и 11 соответственно. До шести уменьшилось их число при переходе на 32/28-нм техпроцессы. Для поколения 22/20 нм собственное производство могут позволить себе только Intel, GlobalFoundries, Samsung (рис. 1) и TSMC. Две последние сегодня соревнуются в пределах серийного производства по 5-нм технологиям.

Расходы на строительство полупроводниковых фабрик в 2000 году варьировались в диапазоне \$200 млн — \$2 млрд, в 2018-м — \$7–\$33 млрд. Стоимость Fab32 (корпорации Intel), открывшегося в 2007 году завода по производству 300-мм пластин на базе 45-нм техпроцесса, составила \$3 млрд. Современные заводы, ориентированные на реализацию самых передовых техпроцессов, уже давно оперируют миллиардными инвестициями. Например, TSMC начала строительство фабрики на 5 нм за \$10 млрд, Intel еще в 2017-м запомнил своим пресс-релизом «Семь за семь», то есть Fab 42. Свой завод по производству 7-нм микроэлектронной продукции компания планировала построить за \$7 млрд, правда, в 2020-м планы удалось реализовать только под топологию 10 нм, разработки 7-нм процесса продолжаются и в 2021 году.

Из наиболее близких к освоенной в России топологической норме 130–90 нм с доступной информацией о величине инвестиций стал запущенный в 2005 году Fab 7 GlobalFoundries, производительностью 50 000 пластин/мес. и стоимостью \$4,68 млрд, при этом стоимость оборудования составила \$3,83 млрд. Здесь, не вдаваясь в историю, заметим, что стоимость апгрейда оборудования для отечественных заводов «Микрон» и «Ангстрем» оказалась гораздо меньшей за счет покупки менее производительных б/у установок, впрочем, и результат был таковым, что сегодня эту историю вряд ли кто-то захочет повторить.

В целом по среднестатистическому анализу 100 проектов в период с начала 1990-х до 2017 года, по данным корпорации SEMI, видно соотношение затрат на оборудование к проектно-строительным работам в пределах 80/20%. Причем работы на этапе технологиче-



Рис. 1. Строительство завода по производству полупроводников Samsung Electronics в Пхэнтхэе, август 2020 года

ской и предпроектной подготовки к этому не относятся, поскольку чаще всего они включены в пункт расходов на R&D. Можно предположить, что общая стоимость производства, проектируемого далеко не по последним топологическим нормам, должна снизиться, но здесь играют роль две тенденции: ведущие мировые производители сосредоточились на современных установках, EUV-техпроцессе, а инвестиции Китая в разработку собственных установок тоже принесли свои плоды. Сегодня известны по крайней мере три ведущих производителя — это Shanghai Micro Electronics Equipment, Beijing E-Town Semiconductor и Advanced Micro-Fabrication Equipment, последняя уже поставляет 5-нм машины, хотя основные продажи составляют установки для 14–28 нм. Впрочем, все перечисленные компании предлагают выбор по всей линейке техпроцессов.

Производство оборудования для полупроводниковой промышленности в России прекратилось еще в предыдущем десятилетии, и следует учесть, что качество отечественных установок было настолько слабым, что для промышленного применения они не использовались. Единичные установки поставлялись в вузы в качестве исследовательского оборудования. Сегодня мы можем надеяться на компетенции отечественных разработчиков, утверждающих, что они в состоянии самостоятельно разработать оборудование и техпроцессы для новых топологических норм. Но стадия НИОКР сразу в нескольких десятках направлений, разработка опытных образцов оборудования, его отладка и получение положительных результатов производительности, когда количество отбракованной продукции перестанет критически влиять на стоимость готовых изделий, займет десятилетие. За это время произойдет не один и не два технологических витка развития, в микроэлектронике их смена происходит в секторе техпроцессов каждые два года, более глобальные изменения — раз в 5–7 лет. Технологическое партнерство с теми же китайскими производителями на основе развития их линеек оборудования, замещения выпускаемых на Западе комплектующих звучит более убедительно.

По прогнозам SEMI, в 2022 году мировые продажи оборудования для полупроводникового производства превысят \$100 млрд, это новый максимум после увеличения в 2021-м на 34% (до \$95,3 млрд) по сравнению с \$71,1 млрд в 2020-м. Соответственно, инвестиции

в оборудование хотя и окажутся самой затратной частью бюджета, но по крайней мере альтернативы в условиях санкций на реализацию новых современных линеек для серийного производства расширяются. Естественно, качество и характеристики новых производителей нужно проверять.

Ситуация с увеличением спроса характерна и для компаний, действующих на рынке проектирования предприятий микроэлектроники. Здесь действует сразу четыре равнонаправленных процесса: высокий спрос на полупроводниковую продукцию, тренд на обратную локализацию производственных мощностей из ЮВА в развитые страны (роботизация процессов привела к снижению зависимости от дешевой рабочей силы, что и являлось изначальной причиной вывода производственных мощностей в Китай и ЮВА), технологическое противостояние США и Китая, а также переход на передовые топологии ведущих глобальных производителей. Сегодня TSMC и Texas Instruments строят производство в США, SK Hynix в рамках проекта «корейского полупроводникового пояса» намерена удвоить производственные мощности, в марте 2021 года Intel объявил о плане строительства двух новых кремниевых заводов по «зрелым» техпроцессам с бюджетом \$20 млрд. Согласно июньскому прогнозу SEMI, в 2021–2022 годах начнется строительство 29 полупроводниковых предприятий: до конца 2021 года — 19 новых заводов по обработке пластин (из них 15 под 300-мм пластины), в 2022-м — еще 10 заводов (семь под 300-мм пластины). Семь из 29 заводов предназначены для обработки пластин диаметром 100, 150 и 200 мм. По восемь заводов будет строиться в КНР и на Тайване, в США — шесть, в Европе и на Ближнем Востоке — три, в Южной Корее и Японии — по два. Поэтому привлечение иностранных подрядчиков-проектировщиков оказывается недоступным не только из-за санкционных ограничений, но и в связи с непомерно дорогостоящим строительством, что вызвано повышенным спросом на профильную деятельность.

Существует еще один аспект, и его следует учитывать при планировании глобальных цепочек поставок. Вслед за значительным увеличением капитальных затрат на полупроводники через один-два года происходит спад на рынке (рис. 2), так случилось в 1984, 1995, 2000, 2007, 2010 годах. Избыток производственных мощностей обычно возникает

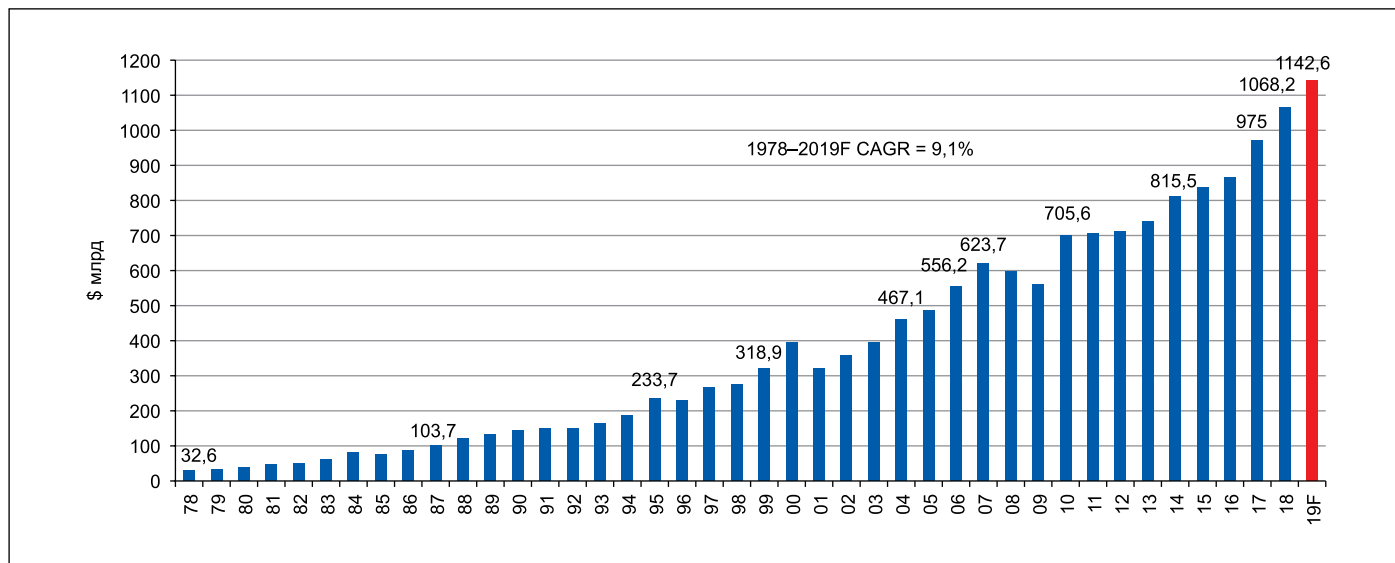


Рис. 2. Динамика роста продаж полупроводниковых элементов в мире

после повышения капитальных затрат более чем на 40%. Исходя из реалий нашей не слишком расторопной практики планирования и реализации поставленных задач, для России вопрос сроков запуска новых мощностей в связи с этим становится приоритетным.

### Потенциал российской отрасли

Казалось бы, на фоне глобальной ситуации конъюнктура рынка предполагает развитие альтернативных цепочек поставок, куда при определенных условиях могли бы встроиться и отечественные поставщики. Включение в борьбу технологически сильных противников предполагает обеспечение рынков сбыта для собственной продукции. Потребности внутреннего рынка по сравнению с мировым ничтожно малы, 0,4%. Соответственно, крупносерийное производство при дефиците внутреннего спроса нужно будет ориентировать на внешних заказчиков. Мелкосерийные заказы для космической и оборонной индустрии не смогут обеспечить загрузку даже малой доли производственных мощностей.

Нет сомнений, что для России перспективы работы с рынками Европы и Северной Америки достаточно эфемерны. С другой стороны, рынок ЮВА огромен и, что немаловажно, неоднороден из-за различий политических и религиозных систем, союзнических предпочтений, нереализованного технологического потенциала и рынка Индии, а также из-за противоречий между Китаем и Тайванем, Кореей и Японией — все это создает перспективу включения третьей стороны в качестве альтернативного поставщика. При этом азиатский рынок имеет хорошие шансы расширяться на африканский континент. Соседний Китай давно стал первым в мире потребителем полупроводников и ЭКБ и при всех попытках собственного варианта импортозамещения остается крупнейшим импортером данного класса изделий и технологий. Потенциальный рынок, при этом еще и находящийся на стадии турбулентности из-за торговой войны, существует. Что мы сейчас можем ему предложить?

В 2018 году, по данным Ассоциации разработчиков и производителей электроники (АРИЭ), «в объеме продаж российских электронных компонентов лишь 10% приходится на разработки последних 10 лет, в то время как около 70% — вообще на разработки советского времени». В «Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» этот тезис подтверждается: «На технологическом уровне 130 нм и более разрабатывается порядка 65% общего объема выпускаемой продукции». Сегодня наша производственная база отстает на восемь поколений топологических норм, это восемь поколений практической разработки и соответству-

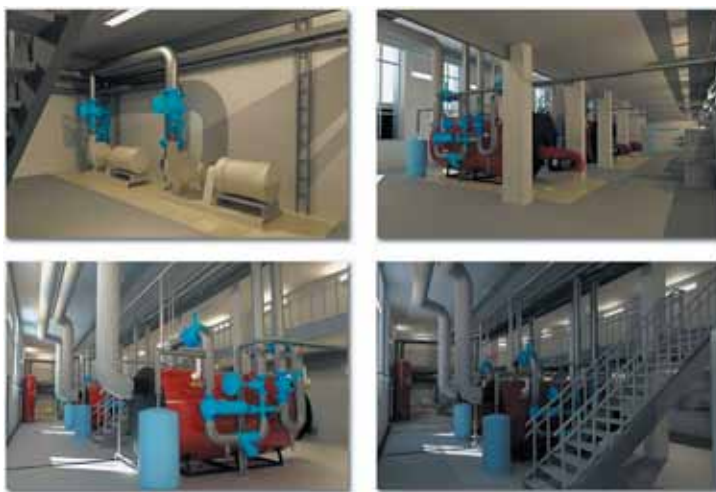
ющих компетенций ученых, инженеров, технологов. Отечественная школа микроэлектроники является в большей мере теоретической, разработки ведутся на лабораторном оборудовании, что значительно отличается от их производственного эквивалента, требования к которому предъявляются, прежде всего, в отношении повторяемости техпроцессов и низкой отбраковки готовых изделий.

Недавно анонсированные планы создания в России к 2030 году не менее 300 центров проектирования микроэлектроники, конечно, могут решить эту проблему, но и самим дизайн-центрам нужна скоординированная загрузка их работы, которая будет зависеть от запросов промышленности. Иначе как 300 центров будут обеспечивать заказ на свою деятельность, «холодным» обзвоном? Соответственно, и характеристики производственной линейки будущего производства нужно определять исходя из спроса: внутреннего — от собственной промышленности и внешнего — от потенциальных зарубежных партнеров.

При этом нужно учитывать, что при успешной реализации проекта производство микроэлектроники будет зависеть от импорта высококачественного сырья и химических соединений, процессных газов, кремниевых пластин и фоторезистов. Их производство на территории России отсутствует вообще и не появляется в силу малого внутреннего спроса и огромных инвестиций для создания конкурентной производственной базы для экспорта. То есть нужно учитывать, что запуск современного завода не решит проблему независимости страны от импорта, а просто переведет проблематику импорта готовых изделий в русло импорта комплектующих. С другой стороны, в стране сконцентрированы огромные ресурсы, а почти вся процессная химия и комплектующие экспортируются. Почему? Потому что нужна высокая степень очистки. Но ведь весь вопрос в технологии, и эти технологии далеко не нанометрового диапазона, они гораздо доступнее. Рынок редкоземельных металлов сконцентрирован в Китае. У нас их нет или просто, в привычке искать нефть и золото, особо и не искали? Опять же, вопрос технологии разведки, добычи, переработки. В связи с торговой войной Китая и США и уже начавшимися нарушениями традиционных цепочек поставок для нас открываются отличные возможности встроиться хоть и не в глобальные, но в региональные цепочки.

В «Стратегии развития электронной промышленности» указано, что объем экспорта российской электронной продукции к 2030 году должен составить \$12 млрд. Корпорация SEMI весной 2021-го отметила, что для США «группа материалов с ограниченным числом и географическим разнообразием поставщиков включает поликремний, фотошаблоны, пластины и подложки, фоторезисты, гелий, природный газ, SF<sub>2</sub>, YAG и альфа-BBO». Без сомнений, ориентироваться

## Пример: информационная модель объекта инфраструктуры для служб эксплуатации предприятий концерна «XXX»



**27** объектов  
**70+** параметров  
**51** датчик

**Эксплуатационная модель для управления всеми процессами. Процессы выведены в единый интерфейс. Интеграция физических систем с виртуальными.**

Система обрабатывает показания датчиков (в т. ч. косвенные) и определяет состояние объектов. Например, по датчикам давления и расхода жидкости мы определяем пропускную способность теплообменника.

Изменение состояния объектов отображается выводом сообщения и изменением цвета объекта в 3D-модели. События создают задачу в ERP-системе.

Вывод параметров состояния объектов через WEB-интерфейс позволяет техникам получать информацию по объекту на смартфон.

Рис. 3. Тестирование одного из модулей Национальной инженеринговой платформы

на поставки в США России не стоит, но что мешает определить такие же направления для собственных потенциальных рынков сбыта? Почему не превратить импорт в экспорт, не в этом ли логика «умного» импортозамещения?

### Проект новой полупроводниковой отрасли и вопросы инженеринга

Учитывая все названные факторы, для оживления отечественной полупроводниковой отрасли нужно не только осуществить трансфер технологий и построить завод, необходим аудит потребностей промышленности и формирование всей инфраструктуры поставок комплектующих и химии, объединение ее с технологическими партнерами и встраивание в международные цепочки поставок.

В связи с этим актуализируется запрос на мощный инженеринговый центр. Во-первых, организация самой производственной базы для микроэлектроники — это высший уровень инженерного искусства, роботизации и автоматизации всех производственных процессов. «Сможешь построить производство микроэлектроники, сможешь построить что угодно» — тезис первого десятилетия 2000-х годов сегодня, с развитием концепции «Индустрии 4.0», остается как никогда актуальным. Во-вторых, решение вопросов трансфера технологий, создания уникальных для страны инженерных и цифровых систем. Не секрет, что компетенции в данном круге вопросов единичны и зависят от ранее реализованных проектов. Команду для проекта подобного масштаба организовать хотя и сложно, но достижимо: в обозримой истории на проектировании для электронной промышленности специализировались не более пяти-шести компаний, часть из которых уже не существует или перешла на параллельные специализации.

С 2021 года компания «Мосэлектронпроект» (далее — «МосЭП») начала заниматься консолидацией этих команд вокруг выстраиваемого компанией инженерингового центра. Уже спустя полгода численность компании выросла на четверть. Проектные группы и целые технологические отделы стали формироваться из наиболее квалифицированных кадров компаний АО «НИК», «ЭлТех СПб», «Диполь», «Остек». Это именно тот круг предприятий, который вместе с «МосЭП» с 2008–10 годов, то есть с момента первой попытки кардинальной модернизации электронной промышленности в сегодняшней России, сформировал фундамент рынка инженеринго-

вых услуг для отрасли. Именно в среде этих компаний зарождалось современное понимание промышленного инженеринга, трансфера технологий, комплексных подходов к реализации сложных проектов. На тот период законодательство было приспособлено к регулированию объектов гражданского строительства, объектов инфраструктуры, но там, где возникала необходимость внедрения сложных технологий, промышленных конструкций, инженерных коммуникаций, система переставала работать, и каждый проект превращался в своеобразное творческое испытание с огромным числом переменных и итоговым «объект необходимо сдать вчера, деньги будут послезавтра». Естественно, такое положение не устраивало все критически зависимых от уровня технологичности отрасли, будь то электроника, ядерная энергетика или машиностроение. Выйти из положения фактически удалось только Росатому, сконцентрировавшему весь инженеринговый потенциал внутри собственной структуры. В электронике этого не произошло, результат — потеря технологичности строящихся/реконструируемых объектов, затянутые сроки сдачи, падение объемов проектирования, рассеивание компетенций.

Тот оптимизм и надежды, которые породили в начале 2010-х беспрецедентное развитие теории и практики инженеринга внутри профессионального сообщества, к 2020 году трансформировались в полную безысходность и смятение перед перспективами цифровизации. Однако развитие не прекращается, внутри таких компаний, как «НИК», «МосЭП», «Остек», начинается движение в сторону развития цифровых инструментов. Итогом деятельности «НИК» становятся цифровые системы: система объективного контроля (СОК) и Национальная инженеринговая платформа (НИП) — модульная система информационного моделирования и управления данными на всех этапах жизненного цикла проекта (рис. 3).

«МосЭП» участвует в проектах в качестве инженерингового партнера, определяет прикладной функционал программных комплексов, тестирует систему на объектах проектирования. Здесь нужно отметить, что НИП задуман именно как инструмент взаимодействия всех участников проекта в едином информационном пространстве, он предоставляет аналитику о состоянии объекта в любой момент времени и рекомендации для управления сроками и издержками. На текущий момент НИП включает сервисы организации управления проектной деятельностью компании в едином цифровом пространстве, сервисы автоматизации ведения инже-



Рис. 4. Объект проектирования (1959 год) компании «МосЭП»: НПП «Торий» в 1960 е годы и сегодня

нерного документооборота на строительной площадке, модуль автоматизированного контроля строительства и модуль работы с BIM-моделью объекта посредством собственного ПО.

В результате происходит своеобразная диффузия компетенций двух команд, а «МосЭП» становится компанией двух столиц, поскольку значимая часть коллектива локализована в Санкт-Петербурге. Примечательно, что сегодня, в преддверии нового витка модернизации электронной промышленности, «МосЭП», как и в момент своего образования в 1946 году еще в качестве филиала Ленинградского государственного союзного проектного института № 5 (позже ГПИИ-5), объединяет школы проектирования Москвы и Санкт-Петербурга. Но сегодня задача более амбициозная — стать куз-

ницей кадров, инжиниринговым центром для всей электронной отрасли, даже не стать, а вернуться к утерянным с распадом плановой экономики позициям. Ведь фактически вся электронная промышленность СССР, кластеры Зеленограда и Фрязино, десятки предприятий в Китае, Польше, Болгарии, Чехословакии, ГДР, Венгрии, Иране построены по проектам «МосЭП».

Сегодня из-за принятого в институте режима секретности сложно восстановить всю историю этого предприятия, но в общей сложности только по профильной деятельности компании реализовано порядка 1500 проектов, и это не жилые дома или торговые комплексы, это предприятия со сложнейшей технологической и инженерной инфраструктурой, в 1970–80-х годах ничем не уступавшие своим западным аналогам.

Тем не менее, как говаривал Овидий, «мы восхищаемся древностью, но живем современностью». Вызовом современности посвящены первые две части данного материала, остановимся на прикладных вопросах, которые встанут перед командой инжинирингового центра «МосЭП».

Первая задача — создание проекта новой отечественной полупроводниковой отрасли, встроив ее в текущие потребности промышленности и обеспечив экспортный потенциал. В дальнейшем — реализация крупных проектов модернизации/автоматизации/цифровизации инфраструктурных и производственных объектов отрасли (рис. 5).

Команда должна взять на себя функции интегратора целого ряда инжиниринговых задач, стоящих перед радиоэлектронным комплексом:

- комплексный технологический аудит (по возможности параллельно с анализом цифровой зрелости) предприятий с участием вузов и технологических центров компетенций;
- обеспечение всех этапов трансфера технологий, решение вопросов закупки и пусконаладки производственных линий, определение направлений научно-технического сотрудничества;
- установление круга иностранных партнеров и их потребностей, согласование спроса с внутренними ресурсами и поиск взаимных точек технологического роста;
- квалифицированное управление проектом на всех этапах его реализации (EPCM-контрактинг);
- комплексная реализация проектов с единым подрядчиком по нескольким видам связанных работ, в том числе работ по системной интеграции;
- инжиниринговая оценка и проработка инвестиционных проектов на ранней стадии;
- предварительная проработка технологических и цифровых решений, их интеграция в единую систему через инструменты цифрового моделирования с дальнейшим использованием результатов при надзоре за ходом реализации проекта и обслуживании объекта после запуска.

По строительному направлению последние несколько лет реформ обеспечили легализацию EPC/EPCM-форматов, контрактов жизненного цикла, что, конечно, станет огромным подспорьем для проектирования высокотехнологичных производств. Не секрет, что промышленная политика, ориентированная последовательно на инноватику, импортозамещение, цифровизацию, постоянно натывалась на все то же «разбитое корыто» отечественного промышленного инжиниринга. В состоянии устаревших норм, стандартов и моделей управления, с одной стороны, и ограниченного рынка — с другой, отрасль не могла консолидироваться, но сегодня по крайней мере значимая часть этих проблем устранена.

В то же время отечественный проектно-строительный рынок, и без того слабо приспособленный к реализации технологически сложных проектов, сталкивается с новым витком требований, связанных с промышленной цифровизацией. Соответственно, исходя из увеличившихся требований к промышленным инжиниринговым компаниям со стороны цифрового сегмента и существующего уровня технологического развития промышленности, инжиниринговый центр должен обладать следующими функциями.

### **Цифровой и технологический аудит**

Проведение аудита сразу многих производственных и исследовательских структур электронной отрасли даже для построения карты цепочек поставок и взаимодействия предприятий — крайне амбициозная задача. А уровень технологичности желательно дополнить вопросами цифровизации. Логично применение современных инструментов бизнес-анализа, но при любом маркетинговом инструментарии и административном ресурсе задача должна быть решена в течение одного года. В результате программа развития отрасли станет прозрачной, изменения в отрасли будут прослеживаемы и планируемы, появятся новые цепочки создания стоимости, приоритеты развития цифровых/технологических изменений смогут быть расставлены таким образом, чтобы получить синергетический эффект от их реализации. В случае если данные, полученные в результате аудита, смогут периодически обновляться, они могут послужить основой для создания системы контроля состояния радиоэлектронной индустрии с возможностью планирования и централизованного перераспределения производственных задач. Компания «МосЭП» обладает достаточно широкой практикой проведения технологического аудита, но экспертиза цифрового сегмента для радиоэлектронного комплекса еще находится на стадии разработки и унификации.

### **ЕРСМ/ЕРС-контрактинг**

Любые решения в технологической среде на современном предприятии должны быть интегрированы в цифровой комплекс, что повышает ответственность инжиниринговых компаний за решения в области системной интеграции, в свою очередь вследствие этого увеличивается доля привлеченных специализированных подрядчиков. Работу с ними эффективно организовать через функцию единого управления проектной деятельностью на всех этапах реализации проекта. ЕРСМ-подрядчик обладает расширенными управленческими и инжиниринговыми функциями и правами генподрядчика, самостоятельно заключающего договоры по специфическим работам с субподрядчиками. Задача ЕРСМ-подрядчика — оценить профессионализм и ресурсы выбираемых подрядчиков и кор-



Рис. 5. Объект проектирования компании «МосЭП»: работа на измерительной зондовой установке

ректно распределить между ними работы и зоны ответственности. Принятая практика надзора со стороны завода-заказчика чаще всего приводила к деградации заложенных технологических решений на этапе реализации, а с развитием цифрового направления компетенции заказчика должны быть сравнимы с крупным проектным институтом, что практически нереализуемо. Следовательно, инжиниринговый центр должен действовать в рамках разработанного ЕРСМ-контракта, по которому будут осуществляться работы по управлению ходом реализации проекта.

Формат ЕРС, объединив комплекс проектно-строительных работ, подбор и установку оборудования, устраняет целый ряд промежуточных операций, напрямую влияющих на эффективность сдаваемого в эксплуатацию объекта. ЕРС наиболее приспособлен к реализации проектов, сложных с технологической и инженерной сторон. ЕРС-контракт предполагает, что основной объем работы ЕРС-подрядчик выполняет собственными силами и несет ответственность за выполнение согласованного объема работ за фиксированную цену. ЕРС-подрядчик занимается монтажными работами в сегменте технологий или сложной инженерной инфраструктуры, напрямую влияющих на функционирование оборудования.

Оба формата достаточно новы для России, но в штат инжинирингового центра «МосЭП» включены проектные группы, еще в 2011 году разработавшие и реализовавшие первый ЕРС-контракт (Инжиниринговый центр волоконной оптики в Саранске), а также проработавшие вопросы легализации и оценки рисков ЕРС/ЕРСМ-форматов для профильных министерств и госкорпораций. Со стороны инжинирингового центра ожидается продолжение этой работы в части создания типовых отраслевых проектов и цифровизации этапов реализации таких проектов в качестве модульного решения

в составе более расширенной платформы, наподобие уже описанной НИП.

### **Предынвестиционная оценка**

Отсутствие квалифицированных кадров и грубейшие просчеты, допущенные на этапе проработки инвестиционного замысла, уже привели к целому ряду запущенных «вхолостую» производств с устаревшими технологическими решениями или заведомо неконкурентоспособной продукцией. Даже при детальном аудите цифровых и технологических возможностей любой проект должен быть рассмотрен инжиниринговым центром, который этот проект будет реализовывать. В существующей практике компании борются за тендер с достаточно размытыми технологическими характеристиками и техническим заданием, составленным не только в отрыве от отраслевого планирования, но зачастую просто далеким от существующих технологических реалий. В предлагаемой системе инжиниринговый центр не только является проводником общей стратегии развития, но и осуществляет текущую инженерную оценку планируемых к реализации проектов. Отлично показавший себя формат научно-технических советов может стать в данной структуре своеобразной надстройкой при определении наилучших технологических решений.

### **Цифровой инструментарий**

Современный уровень проектирования сконцентрирован вокруг цифровых инструментов. Преимущества ВМ-моделирования бесспорны в борьбе с возникающими в процессе проектирования коллизиями и ошибками,кратно уменьшающимися сроками проектирования и пр. Но дополнительное преимущество для инжинирингового центра — это создание цифрового двойника, на базе которого в дальнейшем осуществляются строительно-монтажные работы

и оценивается качество работ подрядчиков, достигаются плановые показатели сроков реализации. При развитии цифровой двойник становится базовой моделью для обслуживания предприятия и организации работы на принципах «цифровой фабрики».

Проблема в том, что для гражданского строительства достаточен уровень АЕС (разделы проектирования «Архитектура», «Инженерные системы», «Строительные конструкции»), для промышленных проектов характерна расширенная версия BIM-системы. Ее базовая задача — связать разделы АЕС с прорабатываемыми технологическими решениями, отвечающими за подготовку технологической схемы производственного процесса, комплектацию установок, расстановку линий оборудования и их оптимальное подключение. При этом сертифицированное рабочее место одного инженера достаточно резко увеличивается в стоимостном выражении. Первоначальные годовые инвестиции на одно рабочее место, включая стоимость софтверных лицензий, поддержку, затраты на «железо», в том числе серверное с соответствующим ПО, персонал, составят \$20 000–\$80 000 в зависимости от специфики деятельности инженера. Даже для минимального штата проектной организации, занятой в реализации технологически сложных проектов в России, такие затраты проблематичны.

Кроме класса программных BIM-продуктов, проектные компании используют большое количество взаимосвязанных цифровых инструментов. Их набор может меняться в зависимости от отрасли, сложности объектов проектирования, внутренних стандартов. В инжиниринговых компаниях полного цикла такой набор может состоять примерно из 50 инструментов. Их стоимость исчисляется миллионами рублей, при этом нужно учитывать не только прямые расходы на ПО и разработку зачастую уникальных решений по управлению и структурированию данных, но и вопросы увеличения вычислительных мощностей и их администрирование. Подобные инвестиции доступны для глобальных игроков, работающих в сегменте крупных коммерческих проектов, высокая прибыль от которых обеспечивает реинвестиции в развитие собственного цифрового потенциала. В России в сегменте промышленного

строительства объектов государственного инвестирования, а это фактически весь рынок масштабных проектов, складывается вне рыночная ситуация. Здесь, в отличие от коммерческих объектов, где все процессы подчинены бизнес-логике, очень много ограничений, связанных с регулированием проектной деятельности и особенностями бюджетного процесса, контрактным законодательством и конкурсными процедурами.

С учетом того, что большинство подобных проектов — реконструкция старых производств, характеризующаяся массой непредсказуемых моментов в процессе строительства (которые регуляторами никак не учитываются), экономией при проведении тендеров и всегда ограниченными сроками на этапе изысканий и проектирования, практической невозможностью внесения изменений в генподрядный договор без риска срыва сроков, рентабельность сегмента проектирования и строительства в госконтрактах стремится к нулю. Реинвестировать в цифровизацию просто нечего. Но существует возможность господдержки собственных разработок, и такие решения появляются как в отраслевых сегментах, так и в более универсальных платформах, наподобие вышеописанной Национальной инжиниринговой платформы, имеющей возможность масштабирования в том числе и отраслевых продуктов.

## Заключение

Таким образом, сегодня для дальнейшего развития российской полупроводниковой отрасли не существует объективных препятствий, но потребуются консолидация всех имеющихся ресурсов для создания профильного инжинирингового центра, способного реализовать столь амбициозный проект. Компания «МосЭП» сегодня формирует такую структуру, пытаясь построить центр компетенций в самых передовых направлениях проектного инжиниринга, центр, способный работать с расширенным маркетинговым функционалом, создать стратегию выхода на внутренний и внешние рынки и, следуя ей, решать вопросы трансфера технологий и цифровизации. ■