

# Современный завод печатных плат компании «Связь инжиниринг» — от замысла до воплощения

**Производственный холдинг «Связь инжиниринг» был основан в 1997 году на базе ряда подразделений Радиотехнического института им. академика А. Л. Минца, расположенного в Москве. Основное направление — производство радио- и электротехнической аппаратуры. Сейчас в состав холдинга входят предприятия различного направления, но основной вектор, конечно, остается — радио- и электротехническая аппаратура для телекоммуникаций, РЖД и энергетики, изделия специального назначения, системы светодиодного освещения и т. п.**

**Андрей Жигачев  
Дмитрий Кочетков  
Сергей Росинкин**

Компания «Связь инжиниринг КБ», также входящая в холдинг, была создана в 2010 году для реализации нового крупного проекта: «Завод печатных плат». Идея создания собственного производства печатных плат зародилась еще в начале 2000-х годов, но реальные очертания она начала приобретать в 2007–2008 гг. Совместно с компанией «Петрокоммерц» в 2008 году был разработан проект завода с годовой производительностью 120 000 м<sup>2</sup>/год. При этом основной упор делался на несложные изделия и большие партии в заказах. В то время мы посетили ряд европейских заводов, в том числе FUBA и AT&S, а также несколько заводов в Китае.

Известная кризисная ситуация в мире и в нашей стране в 2008–2009 годах заставила нас пересмотреть идеологию выхода на российский рынок и, соответственно, идеологию построения технологической цепи завода. После проведения нового исследования рынка в 2010 году и ряда консультаций со специалистами и поставщиками ПП было принято решение снизить общую производительность завода до 55 000 кв. м печатных плат в год. При этом основной акцент теперь был сделан на изготовление сложных печатных плат, многослойных, гибких и гибко-жестких, при условии возможности выпуска прототипов, малых партий и выполнения заказов в короткие сроки. В итоге расчетное распределение составило 30 000 м<sup>2</sup>/год многослойных, гибко-жестких ПП и 25 000 км<sup>2</sup>/год — для двусторонних ПП.

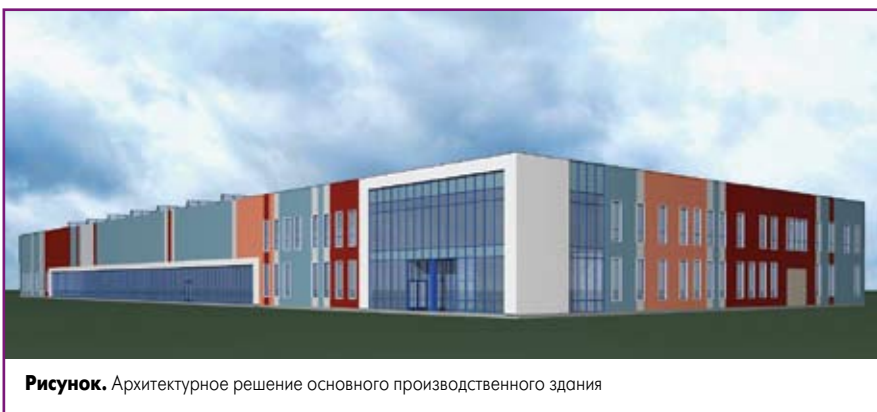
Эти исходные данные и были заложены в разработку технологической цепи предприятия. Главным идеологом и разработчиком технологической схемы производства был Николай Анатольевич Боровиков, который работал над проектом с самого начала, с 2008 года. К великому сожалению, он трагически погиб в декабре 2011 года. Многие знали его как одного из лучших специалистов нашей страны в области производства печатных плат. Но, несмотря на такую потерю, мы прилагаем максимум усилий для создания команды грамотных специалистов, управленцев, активных и целеустремленных сотрудников. Все базовые идеи, заложенные Н. А. Боровиковым, учтены при разработке проектной документации и в дальнейшем будут реализованы.

Для строительства завода рассматривалось несколько площадок, среди которых можно упомянуть пос. Хотьково Московской области, г. Азов Ростовской области и др. Одновременно мы рассматривали и возможность стать резидентом одной из Особых Экономических Зон, которые начали активно развиваться России с середины 2000-х годов. В результате выбор пал на город Дубна, в 100 километрах к северу от Москвы. Пройдя ряд экспертных комиссий Министерства экономического развития, мы вошли в состав ОЭЗ «Дубна» в 2010 году, и нам был выделен участок общей площадью 2,4 га, где сейчас ведется планомерное строительство.

Участие в ОЭЗ дает целый набор льгот и преимуществ при строительстве и эксплуатации предприятия:

- Бесплатное подключение всей инфраструктуры, низкая аренда земельного участка.
- Отсутствие ввозных пошлин на закупаемые расходные материалы и оборудование.
- Отсутствие НДС.
- Близкое территориальное расположение к Москве, как следствие — нет необходимости в организации сложных, длительных и, зачастую, недешевых логистических схем, которые в большинстве своем отрицательно сказываются и на сроках поставки, и на стоимости продукции.

Также немаловажным фактором является отсутствие процедуры прохождения таможенной очистки



**Рисунок.** Архитектурное решение основного производственного здания

на логистическом пути продукции от завода до конечного потребителя, что — опять таки — положительно сказывается на сроках исполнения заказа и устраняет риски, связанные со спецификой взаимодействия с таможенными органами.

Мы считаем, что все это в конечном счете положительно отразится на снижении себестоимости продукции.

Разработка проектной, а затем и рабочей документации для завода такого высокого уровня технологической сложности — непростой и достаточно длительный процесс, требующий активного участия не только проектного института, но и разработчиков технологий, производителей оборудования, организаций, обеспечивающих инфраструктуру. Проектной организацией была выбрана московская компания «Ипромашпром» с большим опытом работы с промышленными предприятиями. «Связь инжиниринг» имеет опыт работы с «Ипромашпромом» с 2003 года, еще на этапе строительства основного производственного здания в Царицыно.

В результате сотрудничества наша компания получила документацию стадии «Проект» уже в сентябре 2011 года и положительное заключение Мособлэкспертизы в ноябре 2011 года. На основании этих документов в декабре того же года мы получили разрешение на строительство от администрации г. Дубна.

В течение 2011–2012 годов мы провели большой объем встреч и консультаций с ведущими отечественными и европейскими специалистами по производству печатных плат. В итоге в начале 2012 года было принято решение предложить господину Шимеку из компании Pragoboard (Чехия) стать техническим консультантом, а его компании — инжиниринговым партнером проекта. С тех пор у нас идет активная совместная работа, проведены уточнения планировки производства, детально проработан перечень оборудования и коммерческие предложения. Опираясь на опыт мировых производителей ПП, мы ввели ряд корректив в технологические решения.

Компания Pragoboard хорошо известна на европейском рынке как производитель сложных печатных плат с коротким сроком выполнения заказов. Благодаря опыту компании Pragoboard и личному знакомству г-на Шимека с производителями оборудования и руководителями заводов печатных плат, мы посетили множество европейских предприятий, провели переговоры, определили детальную спецификацию оборудования. Мы посещали такие известные компании, выпускающие печатные платы, как Hausermann (Австрия), ACB (Бельгия), Eurocircuit (Венгрия) и др. Также были проведены встречи с представителями поставщиков оборудования: Atotech, Schmid, Burkle, Printprocess, ATG, Schmoll, Wise, ITC, Camtek и др., было организовано посещение заводов и демонстрационных центров.

Более чем годовой опыт работы с командой Pragoboard вселил в нас уверенность в высокой компетенции этой компании и положительном результате сотрудничества.

В середине 2012 года был заключен договор с «Ипромашпромом» на разработку рабочей документации для строительства. Наша компания совместно с Pragoboard подготовила все необходимые материалы в части корректировки технологических процессов, оборудования и планировок. Процесс передачи и согласования этих материалов с «Ипромашпромом» длился несколько месяцев, что обусловлено в первую очередь требованиями высокой достоверности и точности к передаваемым данным. Сейчас идет строительство согласно рабочей документации на фундамент и металлоконструкции. К июню 2013 года мы планируем получить полный комплект рабочей документации.

Разработку проекта очистных сооружений и водоподготовки ведет российская компания «Экотех-Москва» с привлечением в качестве консультанта одного из ведущих европейских специалистов в области очистки воды при производстве печатных плат доктора Рода Кельнера (Англия).

Теперь несколько слов о конструктивных особенностях производственного здания и строительства в целом. Комплекс расположен на площади 2,4 га и состоит из двух зданий общей площадью 12 700 кв. м, из них 12 000 кв. м — основное производственное здание и 700 кв. м — административное.

Вся инфраструктура (электроэнергия, тепло, вода) подводится к краю участка, подключение для резидента ОЭЗ бесплатно. Кстати, суммарная мощность потребления электроэнергии в соответствии с проектом составит около 3 МВт.

Площадь застройки производственного здания составляет  $126 \times 54 = 6800$  кв. м, здание двухэтажное, высота потолков — 4,5 м. Конструктивно это столбчатый фундамент и металлоконструкция с внешней отделкой сэндвич-панелями и стеклянными пакетами (рисунок). Это на сегодня самые оптимальные решения для промышленных зданий. Над участками гальваники и мокрых процессов, занимающими площадь 1700 кв. м, высота помещения сделана в так называемые два света и составляет 9 м. Для расположения оборудования очистных сооружений предусмотрено подвальное помещение площадью 450 кв. м. Серьезное внимание уделено инженерному оборудованию для обеспечения производственных процессов (кондиционирование, вентиляция, вода, воздух, чистые помещения).

Для проведения семинаров, встреч, обучения в производственном корпусе предусмотрены два конференц-зала.

Один из важнейших вопросов, встающих при реализации подобных проектов, — это, конечно, квалифицированные кадры, и мы понимаем всю значимость решения этого вопроса. Для профессиональных сотрудников с опытом работы, привлекаемых в проект, мы создаем и будем создавать все условия проживания в Дубне при достойной конкурентной зарплате. Помимо прочего, в этом городе осуществляет свою деятельность Международный университет «Дубна», который готовит специалистов по нашей тематике — «Конструирование и технология

производства радиоаппаратуры». Мы планируем наладить активное сотрудничество с этим учебным заведением (да и не только с этим) в проведении совместной научно-исследовательской работы, практическом обучении студентов и подборе выпускников. Также приглашаются выпускники московских и российских вузов.

В плане обучения в текущий момент мы планируем использовать ряд производственных баз в России и главное — комплексное обучение на предприятии нашего инжинирингового партнера — компании Pragoboard в Праге, а также в ряде компаний производителей оборудования в Европе.

Запуск оборудования, отладка техпроцессов и выпуск первой продукции намечен на вторую половину 2014 года.

Теперь обратимся к общей планировке производства. Напомним, было принято решение создать высокотехнологичный завод, способный выпускать изделия высокого уровня сложности и широкой номенклатуры. В связи с этим отметим несколько принципиальных моментов:

- Устойчивость завода перед наплывом единичных и мелкосерийных заказов, для чего в проект заложено количество ежедневно обрабатываемых и запускаемых изделий порядка 100.
- Использование базовых заготовок в производстве.
- Два типа базовой технологии.
- Заложенный процент выхода годных принят с учетом отказа от ряда ремонтных работ.

Заявленные в техническом задании параметры изделий не являются чем-то сверхъестественным. Это нормальный уровень современного производства печатных плат. И наша цель — построить такое производство, запустить и эффективно эксплуатировать его. При этом мы постарались использовать в проекте самые передовые решения, имеющиеся сейчас на рынке, как в области оборудования и технологий, так и в области IT-сопровождения процесса производства печатных плат. Оперативная отработка заказов и организация производственного процесса под контролем надежных CRM- и ERP-систем существенно снижает сроки обработки, а также риски, связанные с человеческим фактором.

Отдельно рассмотрим, почему мы решили задействовать две основные технологии формирования проводящего рисунка, используемые в настоящее время, — позитивную (Pattern Plating) и негативную (Panel Plating). У каждой из них есть свои преимущества и недостатки. В таблице отображены некоторые из них.

На наш взгляд, негативная технология не является универсальной с точки зрения комплекса поставленных задач и немного дороже позитивной технологии с точки зрения сравнительной оценки стоимости материалов и электроэнергии. В то же время она способна существенно упростить жизнь в большинстве случаев, особенно если учесть возможности горизонтальной реализации процесса гальванического меднения.

**Таблица.** Преимущества и недостатки негативной и позитивной технологий формирования проводящего рисунка

Негативная технология	Позитивная технология
<b>Преимущества</b>	
Более короткий технологический процесс	Более прецизионный процесс
Большая равномерность гальванического осадка	Более надежный «ТЕНТ» при травлении
Нет необходимости в нанесении и снятии металлорезиста	Меньший расход электроэнергии
	Меньший расход меди
<b>Недостатки</b>	
Менее прецизионный процесс	Более длительный процесс
Менее надежный «ТЕНТ» при травлении	Возможны существенные перепады толщины гальванического осадка в пределах заготовки
Повышенный расход электроэнергии	Требуется нанесение и снятие металлорезиста
Повышенный расход меди	

Мы посетили несколько крупных европейских заводов, выбравших негативную технологию в качестве базовой. По их оценкам, пороговым значением, обуславливающим целесообразность использования негативной технологии при использовании базового материала с 18-мкм фольгой, является 125 мкм для параметра проводник-зазор. Таким образом, мы пришли к выводу, что большинство наших изделий может быть изготовлено при помощи негативной технологии. Но всё же не все...

И окончательно мы пришли к выводу о целесообразности реализации двух базовых технологий на нашем заводе в процессе выбора технологии предварительной (химической) металлизации.

Экспертные оценки сошлись в том, что для того, чтобы качественно металлизировать отверстия малого диаметра с большим отношением толщины платы к диаметру отверстия, важно иметь после этапа предварительной металлизации сплошной слой меди, покрывающей стенки отверстия. В этом случае процесс гальванического осаждения меди начинается одновременно по всей поверхности стенки отверстия. Иначе (в случае создания проводимости) процесс гальванического меднения начинается с краев отверстия, то есть создаются предпосылки возникновения дефекта типа «собачья кость». И чем меньше диаметр отверстия и больше отношение толщины платы к диаметру отверстия, тем этот дефект становится более ярко выраженным. Таким образом, с точки зрения универсальности технологии предпочтение отдавалось классической технологии химического меднения. Но этот процесс имеет свои недостатки:

- Существенно сложнее с технологической точки зрения.
- Дороже по сравнению с альтернативными процессами.
- Экологически более грязный процесс.
- Горизонтальная реализация процесса более трудоемка.

Кроме того, лишь для небольшой доли изделий использование химического меднения реально необходимо, для остальных же изделий этого не требуется.

Таким образом, идея реализации двух технологий приобрела конкретные очертания.

В результате в проекте базовый узел негативной технологии формирования проводящего рисунка — горизонтальная линия производства фирмы Atotech, в которой реализованы следующие процессы:

- Seleo — полимерный процесс прямой металлизации (фирма Atotech). Этот процесс уже более шести лет успешно работает на заводе CUBE в Чехии. Он отличается простотой и относительной дешевизной.
- InPulse — процесс гальванического меднения, адаптированный для работы в горизонтальной линии в импульсных режимах (Atotech). По нашим оценкам, загрузка этой линии составит около 75% заказов.

Базовый узел позитивной технологии формирования проводящего рисунка — вертикальная линия производства фирмы PAL, в которой реализованы следующие процессы:

- Printoganth PV E — процесс химического меднения (фирма Atotech);
- InPro A300 — процесс гальванического заполнения глухих отверстий медью, адаптированный для работы в вертикальной линии в прямых режимах (Atotech);

- Cupracid TP — процесс гальванического меднения, адаптированный для работы в вертикальной линии в прямых режимах (Atotech);

- Sulfotech — процесс гальванического оловянирования (Atotech). По нашим оценкам, загрузка этой линии составит около 25% заказов.

Следующее принципиальное технологическое решение, на которое хотелось бы обратить внимание, — это использование DDI-технологии при засветке фоторезиста. Среди преимуществ DDI-технологии отметим следующие:

- высокая разрешающая способность (25 мкм);
- отсутствие затрат на изготовление фотошаблонов;
- отсутствие дефектов и искажений, связанных с работой с фотошаблонами;
- высокая точность совмещения, учитывающая индивидуальные особенности каждой заготовки;
- возможность нанесения идентификационных номеров для заготовок и изделий;
- хорошая производительность;
- возможность автоматизации процесса;
- модульная конструкция оборудования;
- низкие эксплуатационные расходы.

Следует отметить тот факт, что использование DDI-систем купирует некоторые недостатки негативной технологии, а именно проблемы, связанные с защитой металлизированных отверстий на периферии крупноразмерных базовых заготовок. Кроме того, мы планируем активно использовать возможности, предоставляемые DDI-технологией в построении системы управления предприятием.

Говорить о заявленном проценте выхода годных для изделий заявленной сложности без наличия чистых климатизированных помещений нельзя. В проекте реализованы два типа чистых помещений:

- Класс чистоты ИСО-8 ГОСТ ИСО 14644-1-2002 («100.000»). Общая площадь — 550 кв. м.
- Условно чистое помещение (фильтрация (9-й класс чистоты) и избыточное давление). Общая площадь — 345 кв. м.

Остановимся немного на вопросе выбора САМ-системы. Это важная задача. И мы уделили много времени анализу имеющихся на рынке продуктов. Подготовка изделия к производству в условиях многономенклатурного производства (100 наименований в день), эффективность работы данного подразделения могут определять эффективность работы предприятия в целом.

Перечислим лишь несколько задач, которые должна решать САМ-система:

- Оптимизация анализа исходных данных заказчика: необходимо оперативно проверить изделие на технологичность и сформировать отчет для заказчика с указанием конкретных узких мест проекта и их локализацией.
- Сокращение цикла подготовки данных: современные системы поддерживают гибкие механизмы автоматизации, которые совместно с оптимизацией алгоритмов обработки позволяют существенно снизить время, необходимое на подготовку данных.
- Оптимизация времени выполнения технологических операций: качество подготовки проекта оказывает непосредственное влияние на время выполнения некоторых технологических операций (изготовление фотошаблонов, сверление, выполнение оптического и электрического контроля).
- Общее улучшение качества плат: качество подготовки проекта непосредственно связано с процентом брака.
- Снижение влияния человеческого фактора: современные системы позволяют составить план из автоматических процедур; в задачу оператора в этом случае входит лишь следовать этому плану и контролировать результаты выполнения процедур на соответствие утвержденному регламенту.

Отладка логистики внутри предприятия также является крайне важной задачей. И в настоящее время мы вплотную заняты построением структуры системы управления заводом. Думаем, многие представляют себе сложность этой задачи. Большинство известных нам отечественных предприятий, столкнувшись с необходимостью создания более продвинутой системы управления, пошли по пути написания собственной программы. Во многом это решение было связано с отсутствием

на российском рынке специализированных систем для производства печатных плат. С помощью нашей инжиниринговой фирмы нам удалось выяснить, что на мировом рынке существуют подобные ERP-системы. Некоторые из них предлагают свои услуги уже более 20 лет и имеют заслуживающий внимания референс-лист. Мы понимаем, что без доработки этих систем нам все равно не обойтись, но время, потраченное на это, будет несоизмеримо меньше, чем если бы мы начали разрабатывать подобную систему с нуля.

Ну и в завершение хотелось бы остановиться на очистных сооружениях завода. Специфика проекта состояла в очень жестких требованиях Дубны для сливов, а также в имеющихся для завода ограничениях по водопотреблению — 100 м<sup>3</sup> в сутки, что составляет менее 0,5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> готовой продукции. В настоящее время проект, созданный совместными усилиями фирмы «Экотех», нашей технологической группы и зарубежным консультантом доктором Кельнером, имеющим огромный практический опыт создания систем водоочистки для производств печатных плат по всему миру, предусматривает возврат более 80% очищенной воды в производство.

Как итог всему сказанному перечислим, в чем мы видим основные преимущества нашего проекта:

- собственные инновационные разработки;
- научно-исследовательская работа;
- обучение специалистов на базе предприятия;
- современное производственное оборудование;
- высокое качество продукции;
- короткие сроки изготовления продукции;
- высококвалифицированные кадры;
- удобство расположения и гибкая логистика;
- возможность выхода на европейские рынки и рынки СНГ;
- комплексные услуги по изготовлению и сборке печатных плат;
- новая система управления предприятием;
- размещение в особой экономической зоне.