

# ПРОБЛЕМЫ АНТЕННОЙ ТЕХНИКИ

Под редакцией члена-корреспондента АН СССР Л. Д. Бахраха  
и профессора Д. И. Воскресенского



Москва  
«Радио и связь»  
1989

## ГЛАВА 16. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В АНТЕННОСТРОЕНИИ

С. Н. ГАРИЧЕВ

### 16.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Анализ показывает, что в настоящее время антенностроение по существу является одной из подотраслей промышленности, одним из направлений машиностроения и требует самостоятельного рассмотрения во всех основных аспектах: научно-техническом, производственном, организационно-экономическом. Одной из важнейших компонент производства в антенностроении является проектирование антенн и антенных систем различных радиотехнических средств СВЧ диапазона.

Как известно, современные антенные системы могут включать строительные сооружения, специальные механоконструкции, машины и приводные механизмы, АФУ, антенно-передающие и антенно-приемные модули, в том числе в интегральном исполнении, управляемые устройства СВЧ, цифровую и другую современную технику. Их проектирование часто осуществляется на всех уровнях — от системного до технологического проектирования.

При системном проектировании определяются принципы построения, конфигурация, структура антенной системы в целом, требования к составным частям и подсистемам, осуществляется их увязка в единое целое, контроль, принятие технических, организационных решений по ходу разработки, т. е. сопровождение проектных работ. На этом уровне важны не характеристики отдельных устройств и конструкций, а технические, технико-экономические показатели (показатели качества) антенной системы в целом и сроки выполнения основных этапов работ. При функциональном, схемотехническом проектировании определяется структура подсистем и составных частей, разрабатываются отдельные антенны, излучатели, устройства трактов, диаграммо-образующие схемы, антенные модули и другая антенная техника, топологические и принципиальные схемы, определяются типы и параметры устройств и аппаратуры, осуществляется макетирование, проверка частных технических решений, сопровождение работ. Выходным результатом работ на этом уровне является техническое задание на конструирование.

При техническом проектировании (конструировании) разрабатываются антенные конструкции машины и механизмы, решаются задачи компоновки, размещения, прокладки трактов, выбираются конструктивы и материалы, осуществляются конструкторские расчеты, выпуск конструкторской документации (КД) для опытного производства и основных заводов-изготовителей, а также сопровождение изделий в производстве. Выходным результатом работ на этом уровне является КД.

При технологическом проектировании разрабатываются технологии изготовления антенных устройств и конструкций, осуществляется технологическая подготовка производства, проектирование инструмента, оснастки, программ для оборудования с ЧПУ, выпуск технологической документации, контроль производства. Производство включает как заводское изготовление антенных уст-

ройств и конструкций, так и монтаж антенной системы в целом на местах дислокации и завершается контролем, настройкой, испытанием и аттестацией изделий. Определяющее значение при этом, как известно, имеют антенные измерения.

На практике на каждом уровне проектные работы выполняются вполне определенными специалистами-тематиками, разработчиками, конструкторами, технологами, объединенными, как правило, в соответствующих линейных структурных подразделениях. Это так называемый *основной производственный персонал*, который часто называют «разработчиками».

Кроме того, в процессе проектирования участвуют подразделения инженерно-технического, информационно-методического, хозяйственного обеспечения разработки, а также подразделения управления и опытное (экспериментальное) производство.

Таким образом, проектирование является сложным процессом, в котором разработчики всех уровней взаимодействуют друг с другом, с подразделениями сферы обеспечения, опытного производства и сферы управления. Их проектная деятельность может быть представлена в виде следующей укрупненной совокупности видов работ [1]:

№<sub>1</sub> — поиск и анализ научно-технической, патентной, нормативно-справочной информации;

№<sub>2</sub> — генерация, анализ, сопоставление, выбор системотехнических, схемотехнических, конструкторских, технологических решений;

№<sub>3</sub> — математическое моделирование, вычислительный эксперимент, проектный расчет и оптимизация вариантов и параметров на всех уровнях;

№<sub>4</sub> — проведение экспериментов, измерений и испытаний изделий, материалов, техпроцессов;

№<sub>5</sub> — разработка и выпуск текстовой и графической проектной, конструкторской, технологической, эксплуатационной документации для аван-проектов, эскизных, технических, рабочих проектов, изготовления в производстве;

№<sub>6</sub> — составление и согласование исходных данных, технических заданий, планов-графиков, смет и калькуляций, заявок, писем, служебных записок и других документов по организации процесса проектирования;

№<sub>7</sub> — сопровождение разработки и производства, контроль-прогноз сроков, затрат, качества, внесение изменений в документацию, приемка и согласование выполненных работ и т. п.

Часто бывает удобно представить указанную совокупность проектных работ еще более укрупненно: информационная работа как совокупность работ №<sub>1</sub>; аналитическая работа или собственно разработка технических решений как совокупность работ №<sub>2</sub>, №<sub>3</sub>, №<sub>4</sub>; организационно-техническая работа как совокупность работ №<sub>5</sub>, №<sub>6</sub>, №<sub>7</sub>.

Объективный процесс усложнения создаваемых антенных систем приводит к удлинению сроков проектирования, росту затрат, трудоемкости проектных работ при реализации повышающихся требований к качеству проектов. В отсутствие комплексной автоматизации проектирования в антенностроении наблюдаются следующие основные особенности. По опытным данным сроки проектирования иногда в 5—7 раз превышают сроки изготовления больших антенных систем и определяют сроки их создания. При этом 25...30% трудозатрат разработчика в среднем уходит на информационную работу, 30...40% — аналитическую и 30...35% — организационно-техническую. Усреднение проведено как по уровням проектирования, так и во времени. Однако в разные периоды времени в процессе проектирования и на различных уровнях это соотношение может сильно меняться.

В то же время стоимость создания антенных систем не определяется затратами на их проектирование. В среднем затраты на проектирование составляют 10...20% затрат на изготовление и только 5...10% стоимости создания антенной системы. По-видимому, автоматизация проектирования в антенностроении и призвана поправить складывающиеся на практике указанные диспропорции.

## 16.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Обобщение опыта работы по созданию больших антенных систем и применения средств автоматизации в практике проектирования позволяет в настоящее время сформулировать основные принципы и направления автоматизации проектирования.

Принцип I. Автоматизация проектирования должна быть направлена на достижение главных целей:

сокращение сроков выполнения отдельных видов проектных работ и проектирования антенных устройств, конструкций, систем в целом за счет автоматизации трудоемких и рутинных работ, замены натуральных испытаний и макетирования моделированием на ЭВМ, автоматизации антенных измерений, контроля и настройки антенн, сокращения потерь времени на стыках проектных работ, при взаимодействии в сферах обеспечения, управления и с производством;

улучшение тактико-технических и технико-экономических показателей антенн и систем (показателей качества), снижение затрат на их создание и эксплуатацию за счет многовариантного анализа и оптимизации на основе математического моделирования и совершенствования проектных расчетов;

повышение производительности труда разработчиков за счет автоматизации всех видов проектных работ, сокращения доли трудозатрат на информационную и организационно-техническую работу.

Безусловно, благотворные последствия автоматизации гораздо шире и многообразней. Это и более полное удовлетворение пот-

ребностей заказчика по срокам, качеству и стоимости изделий и все то, что относят к социальному эффекту автоматизации. Конечно, переход к автоматизации требует немалых капитальных вложений в вычислительную технику, программное обеспечение, единовременных затрат других ресурсов, а также приводит к повышению текущих затрат на разработку проектов (хотя бы за счет увеличения используемого машинного времени), т. е. к увеличению затрат на проектирование и создание антенн в целом. Например, переход к автоматизации, требующей увеличения затрат на проектирование в  $\alpha$  раз, с учетом отмеченных ранее пропорций приводит к увеличению стоимости создания в  $\alpha(0,05 \dots 0,1)$  раз. Вместе с тем опыт показывает, что только за счет автоматизации работ  $\times_2$  при анализе и оптимизации в среднем 100...150 вариантов удается добиться снижения стоимости создания и эксплуатации на 5...10%. Поэтому увеличение затрат на автоматизацию проектирования в определенных пределах экономически выгодно. Действительно, в данном примере расчеты показывают, что даже заметное (в пределах 8...10%) увеличение всех затрат на проектирование, обусловленное созданием средств автоматизации работ  $\times_3$ , экономит затраты на создание антенной системы как минимум на 2...3%. Таким образом, экономический эффект автоматизации в основном проявляется не на этапе проектирования, а на последующих стадиях жизненного цикла: в изготовлении, монтаже и эксплуатации.

Как показывает практика, реализация данного принципа требует разработки целевых программ и в первую очередь в НИИ и КБ, занимающихся разработкой и созданием антенн и антенной техники. Такой опыт уже имеется и вполне себя оправдывает.

Принцип II. Автоматизация проектирования должна осуществляться комплексно по уровням, видам работ, этапам проектирования, в сферах обеспечения и управления.

Можно заметить, что при сложившейся структуре трудозатрат по видам проектных работ даже 100-процентная автоматизация информационной и аналитической работ не может дать более чем 70...75-процентную степень автоматизации проектирования, если переход к автоматизации не затронет организационно-технические работы. По-видимому, следующая совокупность средств автоматизации проектирования в основном покрывает перечисленные виды работ  $\times_j$ ,  $j=1, 7$ , при проектировании на всех уровнях, в сферах обеспечения и управления:

автоматизированные информационно-поисковые системы (АИПС), машинные банки научно-технической и нормативно-справочной информации;

автоматизированные системы проектирования (САПР), программно-технические комплексы и вычислительно-моделирующие стенды, автоматизированные рабочие места (АРМы), программно-методические комплексы (ПМК), пакеты прикладных программ решения научных задач, моделирования, оптимизации, про-

ектных расчетов (ППП), т. е. программные средства САПР системного, функционального (схемотехнического), технического, технологического проектирования;

автоматизированные системы экспериментальных исследований и автоматизированные измерительные комплексы (АСЭИ, АИК);

специальные средства выпуска документации: автоматизированные системы, пакеты программ, диалоговые комплексы выпуска и редактирования текстовой и графической документации, печатающие устройства, графопостроители, чертежные автоматы, пункты выпуска документации (ПВД), машинные архивы КД;

автоматизированные системы управления разработкой и разрабатывающим предприятием (АСУП, АСУРП) и их отдельные компоненты, используемые разработчиками для автоматизации работ  $\times_6$ ,  $\times_7$ .

Чтобы улучшалась структура трудозатрат разработчика и достигались основные цели автоматизации проектирования, необходимо сбалансированное внедрение данных средств в НИИ и КБ.

Принцип III. Средства автоматизации должны быть рационально дифференцированы (специализированы) по видам работ и объектам проектирования и интегрированы в единый комплекс средств автоматизации всего процесса проектирования.

Из практики известно, что чем больше специализация средств по конкретным видам работ, тем больший выигрыш в производительности труда (снижение трудоемкости) достигается за счет автоматизации на данных видах работ. Но тем больше их разнообразие и сложнее интеграция специальных средств в единый комплекс, при котором не увеличивались бы потери времени и трудозатраты при переходах от одного вида работ к другому. К тому же каждое специальное средство, как правило, имеет свой язык проектирования или свои лингвистические особенности. Это создает трудности освоения и языковые барьеры в тех случаях, когда один и тот же разработчик выполняет совокупность проектных работ, обеспеченную различными специальными средствами. По-видимому, под рациональной следует понимать такую специализацию и интеграцию средств, при которой достигается минимум трудозатрат разработчиков на выполнение всей совокупности проектных работ в течение некоторого периода времени в условиях конкретного НИИ и КБ.

Главным при этом является рациональное построение комплексов технических (КТС) и особенно программных средств (ПС) автоматизации проектирования. В этой связи прежде всего необходим классификатор антенн и антенной техники, наиболее применяемых в разработках, и общие требования к специальным ПМК и ППП автоматизации проектирования в антенностроении. Одной из самых распространенных форм, при которых достигаются высокая степень интеграции и малые потери времени на стыках работ и при взаимодействии в других сферах, являются сквозные автоматизированные процессы проектирования и изготовле-

ния. Однако такие процессы пока целесообразно разрабатывать и внедрять только для устройств и конструкций наиболее массового применения в антенных системах, например устройств СВЧ на микрополосковых платах и гибридно-интегральных модулях, волноводных устройств СВЧ трактов и т. п.

Принцип IV. Автоматизация не должна нарушать структуру базовой технологии проектирования. Этот принцип в основном реализуется при внедрении САПР в НИИ и КБ, поэтому здесь подробно не рассматривается. Отметим только, что создаваемые специальные ПМК и ППП должны быть однозначно ориентированы на разработчиков того или иного уровня, т. е. системного, функционального, технического, технологического проектирования. Если создается и внедряется средство сквозного проектирования, например такое, как ПРАМ-0.3 [2], которое с единого формализованного задания или единого монитора позволяет решать задачи функционального и технического проектирования, то его используют специалисты-схемотехники, выполняя тем самым часть конструкторских и даже технологических работ, например прорисовку топологии микрополосковой платы, расчет таблицы координат и выпуск управляющих перфолент для технологических автоматов по изготовлению фотошаблонов. В результате частично разгружаются конструкторы и технологи, однако именно они окончательно выпускают комплект КД и запускают изделие в производство.

Кроме того, автоматизация в сфере обеспечения и управления проектированием должна быть направлена не только и не столько на повышение производительности труда обеспечивающего и управленческого персонала, сколько на снижение трудозатрат разработчиков на информационные и организационно-технические работы. Переход к автоматизированному проектированию должен осуществляться поэтапно по мере освоения новых средств и методов работ, развитие процесса автоматизации проектирования должно носить эволюционный характер. Автоматизация проектирования должна основываться на программно-целевом методе организации работ, планирования и управления поэтапным процессом.

### 16.3. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В основных направлениях экономического и социального развития СССР, решениях Правительства на длительную перспективу поставлены важные задачи в области автоматизации проектирования во всех отраслях народного хозяйства. Автоматизация проектирования отнесена к сфере производства, программные средства САПР — к продукции производственно-технического назначения. Важное место в отраслевой программе работ в области создания и использования САПР РЭА на XII пятилетку и на период до 2000 года отводится средствам автоматизации проектирования антенн и антенной техники, в первую очередь СВЧ диапазона. Создание и использование САПР антенн и антенной техни-

ки (САПР АТ) на промышленной основе — это новая задача, от решения которой во многом зависят успехи антенностроения, конкурентоспособность антенной продукции по отношению к бурно развивающейся радиоэлектронной технике на основе типовых электронных модулей и базовых несущих конструкций.

Анализ показывает, что средства автоматизации проектирования создавались, создаются и применяются на практике во многих организациях. Большинство работ долгое время было направлено на разработку моделей, численных методов и алгоритмов решения электродинамических задач и создание пакетов прикладных программ для моделирования, оптимизации, расчета параметров различных типов антенн, устройств СВЧ трактов, автоматизацию измерений. В меньшей степени они касались технического проектирования (конструирования) и технологической подготовки производства. Безусловно, наличие адекватных электродинамических моделей и соответствующих ППП — это основа, необходимое условие создания САПР и вместе с тем недостаточное условие достижения высокой степени автоматизации проектирования в подразделениях НИИ и КБ, разрабатывающих антенную технику.

Из-за ряда особенностей большинство созданных ППП в большей мере предназначены для решения научных задач научными работниками высокой квалификации в области прикладной электродинамики, нежели инженерами-разработчиками в производственном процессе. Недостаточно развиты средства диагностики и комментария, языковые средства, приближенные к естественному языку инженера-пользователя, диалоговый аппарат, информационные банки моделей и данных, средства документирования результатов. Слабо представлена методическая компонента в виде четкой методики проектного расчета и условий применения. Мало промышленно тиражируемых ППП.

Немалые трудности возникают и вследствие того, что многие программные средства реализованы на ЭВМ БЭСМ-6, в то время как в последнее десятилетие разрабатывающие НИИ и КБ интенсивно оснащаются вычислительной техникой серии ЕС ЭВМ. Кроме того, многие ППП не стыкуются по входам — выходам даже по информации, в результате чего крайне сложно организовать сквозной процесс проектирования того или иного вида антенной техники без трудоемкой ручной переработки информации «на стыках» проектных работ. Долгое время (более десяти лет) в интенсивно развивающейся программе САПР РЭА не было представлено и не получало развития направление работ по созданию средств автоматизации антенн и антенной техники. Отсутствие такой стержневой промышленной разработки не способствовало объединению усилий коллективов, концентрации, специализации и координации работ по созданию и внедрению средств САПР в данной области.

Вместе с тем создано немало хороших программных и методических средств, которые при незначительной доработке могут

достаточно широко использоваться в практике проектирования. По оценкам объем такого программного продукта составляет не менее 10 Мбайт. Часть средств для САПР АТ можно заимствовать среди разработок, выполненных в рамках САПР РЭА, а также в приборостроении, авиастроении и электронной промышленности. Разработаны эффективные численные методы и алгоритмы решения задачи прикладной электродинамики, механики, теплофизики, которые позволяют создавать новые программные средства САПР. Существуют и другие благоприятные предпосылки к тому, чтобы, наращивая имеющийся научно-технический задел, перейти к автоматизации проектирования антенн и антенной техники на промышленной основе. Для этого необходимо решить ряд проблем и задач, среди которых первостепенными представляются следующие:

максимально возможное использование на практике уже созданных и создаваемых программных и методических средств автоматизации проектирования антенн и антенной техники, создание программно-методических комплексов для решения тех задач и тех объектов проектирования, для которых соответствующие средства еще не созданы или мало эффективны;

создание базового комплекса средств САПР антенн и антенной техники промышленного назначения, предназначенных для комплектования САПР НИИ и КБ, охватывающих все уровни проектирования, все виды проектных работ и те объекты, которые наиболее важны и распространены в промышленных разработках радиотехнических средств;

подготовка кадров, способных к быстрому освоению и применению средств САПР АТ в практике проектирования, как среди будущих инженеров в вузах, так и среди разработчиков НИИ, КБ и проектных организаций.

Решение первых двух проблем в значительной степени осуществляется в рамках НИОКР «Комплекс», в выполнении которой участвуют многие ведущие коллективы антенщиков промышленности, Минвуза, АН СССР [3]. Главная цель этой работы состоит в том, чтобы создать комплекс средств САПР антенн и антенной техники и в первую очередь модульных ФАР, а также другие средства САПР будущей интегрированной автоматизированной системы «проектирования — производства» АСНИ — САПР — АСТПП — АСУП — ГАП, т. е. гибкой производственной системы (ГПС АТ) в антенностроении.

В основу создания технической базы САПР, ГПС АТ положена концепция технических средств САПР РЭА о создании и внедрении в практику проектирования АРМ трех уровней: АРМ высокой производительности на базе ЭВМ ЕС-1046, 1066 с графическими дисплейными станциями и другим дополнительным периферийным оборудованием; АРМ средней производительности на базе УВК СМ-1420, например в комплектации АРМ1-04, АРМ2-01 и т. п.; мини-АРМ или персональные компьютеры ЕС ЭВМ.

Анализ накопленного опыта работ в области САПР РЭА показал, что программно-методическую основу САПР должны составлять проблемно-объектно-ориентированные программно-методические комплексы (ПМК). Понятие ПМК по существу является расширением понятия ППП, предназначенного для автоматизации проектирования с учетом следующих основных тенденций в создании существующих программных средств: достаточно сильной проблемно-объектной ориентации; создания банков моделей, входных данных и результатов проектирования; введения диалоговых средств и относительного сужения области традиционной пакетной обработки, специализированного системного программного обеспечения, позволяющего расширить состав функциональных программных модулей и реализовать общий монитор; использования двухмашинных (многомашинных, многопроцессорных) комплексов с разделением функций между ЭВМ и обменом данными между ними в процессе проектирования.

Определено, что обязательными компонентами ПМК, создаваемых для САПР АТ, должны являться:

- 1) методика проектного расчета (оптимизации) объектов или процессов;
- 2) банк моделей, входных данных и результатов проектирования;
- 3) комплекс программных средств, реализующих на СВТ постановку задачи проектирования, ввод исходных данных, счет на ЭВМ, обработку и выдачу результатов на периферийные устройства, а также хранение в ЭВМ моделей, входных данных и результатов проектирования;
- 4) методика применения ПМК при проектировании объектов или процессов на СВТ.

Программно-методические комплексы САПР АТ должны охватывать все уровни и стадии проектирования, а также основные виды устройств, конструкций, механизмов, используемых в антенностроении. В первую очередь создаются ПМК:

системного проектирования модульных ФАР, антенных систем, где приемным или передающим модулем является функционально и конструктивно законченный узел — пассивная или активная ФАР, вставляемая в антенное поле, или другой тип антенны, являющийся серийным комплектующим изделием заводского изготовления;

функционального проектирования пассивных и активных модулей ФАР и их элементов: излучателей, фазовращателей, других управляемых и пассивных устройств СВЧ трактов, а также зеркальных, гибридных и других типов антенн;

технического и технологического проектирования — технологической подготовки производства волноводных изделий, микрополосковых плат, гибридных интегральных модулей, приводных механизмов, несущих механоконструкций, зеркал, экранов, радиопрозрачных покрытий, обтекателей.

Программно-методические комплексы системного проектирования должны решать следующие основные задачи:

анализ свойств, расчет основных характеристик и показателей модульной ФАР на моделях электродинамики, эффективности, надежности, стоимости, поиск и выбор вариантов системы, процесса ее создания и эксплуатации по совокупности показателей качества для формирования технического задания на разработку (ТЗР) составных частей и модулей ФАР;

анализ технико-экономических показателей заводов-изготовителей основных составных частей, модулей и элементов ФАР при смене номенклатуры, внедрении новых технологий и оборудования, расширении производства для формирования ТЗ по технологической и экономической подготовке производства на перспективу;

анализ технологии монтажа оценка длительности, трудоемкости, затрат ресурсов на выполнение монтажных работ для формирования ТЗ по подготовке объектов дислокации ФАР на перспективу;

анализ процесса создания модульной ФАР по срокам, ресурсам выполнения основных этапов работ для формирования, оценки и корректировки перспективных планов разработки, изготовления, монтажа и ввода в эксплуатацию.

Программно-методические комплексы функционального, технического, технологического проектирования модулей, элементов ФАР, антенных конструкций должны решать следующие основные задачи:

электродинамический анализ и синтез объектов проектирования, расчет и оптимизация их параметров по ТЗР для формирования технического задания на конструирование (ТЗК);

конструирование (компоновка, сборка, деталировка и т. д.) и конструкторские расчеты, а также подготовка и выпуск КД на АЦПУ и графопостроителях;

технологическая подготовка производства и технологические расчеты, выбор и нормирование техпроцессов и операций, выбор и проектирование инструмента и оснастки, специального технологического оборудования и т. д.), выпуск маршрутных карт, перфолент (или подготовка данных на МЛ, МД) и другой технологической документации.

Из отдельных компонентов (ПМК) САПР АТ в НИИ и КБ могут быть образованы интегрированные автоматизированные системы и сквозные автоматизированные процессы исследования, проектирования, подготовки производства. Однако опыт внедрения САПР РЭА показал, что конечный эффект автоматизации проектирования намного возрастет, если реализованы эффективное управление и интеграция САПР с автоматизированным производством, т. е. в условиях гибкой производственной системы (ГПС). Это особенно важно для антенностроения с меняющейся номенклатурой изделий и мелко- или среднесерийным характером производства. Рассмотрим состав программно-методического обеспечения ГПС АТ, приняв за основу концепцию построения интегрированной автоматизированной системы проектирования — производства (ИАС РЭА) и ее типовые компоненты.

Интегрированная система в данном случае представляет собой совокупность функциональных автоматизированных систем и гибкого автоматизированного производства, объединенных средства-

ми системного интерфейса, ориентирована на максимальную конструкторско-технологическую унификацию объекта проектирования и предназначена для реализации сквозного процесса «проектирование — производство» путем интеграции функциональных систем САПР, АСТПП, АСУП, ГАП на основе типовых средств интеграции: локальных вычислительных сетей, программно-информационных интерфейсов, интегрированного банка данных. Основной сквозной процесс «проектирование — производство» является последовательность связанных друг с другом процессов преобразования информации средствами ИАС.

Сквозной процесс в системе состоит из следующих основных стадий:

1. Проектирование объектов (изделий, сборочных единиц, деталей) средствами САПР, включая проектирование КД и ее технологическую обработку на основе изготовления образца изделия в опытном производстве НИИ и КБ, а также формирование архива САПР.

2. Передача архива САПР на машинных носителях из НИИ и КБ на завод-изготовитель.

3. Технологическая подготовка ГАП средствами АСТПП, включая анализ техпроцессов, подготовка управляющих программ, расчет трудоемкости изготовления и других технико-экономических показателей, структурный анализ КД, расчет применяемости деталей, сборочных единиц, материалов, комплектующих, проектирование специальных средств технологического оснащения (СТО), создание групповых техпроцессов, формирование перечней заготовок деталей, комплектующих и СТО к групповым техпроцессам.

4. Управление предприятием средствами АСУП, включая экономическое управление производственным комплексом, календарное и оперативное планирование производства, планирование материально-технического обеспечения, учет продукции, выдачу информации о состоянии производства и т. п.

5. Оперативное управление гибким производством средствами АСУ ГАП, включая: а) формирование и ведение информационной модели производства с выполнением функций контроля состояния производства, анализа качества изделий, управления техобслуживанием оборудования и т. д.; б) формирование производственных программ цехам в виде сменно-суточных заданий и программ материально-технического обеспечения; в) подготовку программ управления автоматизированной транспортно-складской системой (АТСС) и контроль ее функционирования и т. д.

6. Автоматическое управление с помощью управляющих программ участками, линиями, гибкими производственными модулями при изготовлении и контроле деталей и сборочных единиц.

Информационным ядром сквозного процесса «проектирование — производство» является интегрированный банк данных (ИБД), в составе которого хранятся КТД, плановая документация и нормативы, в том числе КД в виде содержимого архива САПР, типовые конструкции деталей и сборочных единиц, библиотека техпроцессов, библиотека управляющих программ для ГПС, линий, участков и АТСС, КД на оснастку ГАП, информационная модель производства. Участие человека в сквозном процессе «проектирование — производство» осуществляется через терминальные средства АРМ, АЦД, ГД.

Рассмотрим специфику антенного производства на примере модульных ФАР. Именно модульные конструкции получают наибольшее распространение в СВЧ и миллиметровом диапазонах, поскольку они обеспечивают высокую степень заводской готовности и технологичности сборки на местах дислокации антенн СВЧ. Основными составными частями модульных ФАР являются: несущие механоконструкции (полотно ФАР), модули ФАР, вставляемые в полотно, РЭ аппаратура энергообеспечения и управления модулями (шкафная РЭА), радиопрозрачные укрытия и экраны. Модуль ФАР является основным функциональным устройством, излучающим или принимающим электромагнитное поле, и содержит, как правило, излучающую или приемную апертуру (совокупность излучателей), генераторы СВЧ или аналоговую РЭА обработки сигнала для приемных антенн, устройства СВЧ трактов, цифровую аппаратуру управления фазой, вторичные источники питания и некоторые другие элементы. Модуль ФАР производится на заводе-изготовителе в некотором конструктивном исполнении, относится к серийной продукции и является сборочной единицей на объектах дислокации ФАР. Процессы проектирования и производства ФАР имеют следующие основные особенности.

При системном и функциональном проектировании ФАР в целом, а также большинства ее основных составляющих частей (модуль ФАР, излучателей, устройств СВЧ трактов и др.) неизбежно решается часть конструкторских задач и в первую очередь определение топологии проектируемых объектов, поскольку их системные и функциональные характеристики (выходные радиотехнические показатели) главным образом зависят от геометрических размеров и размещения модулей. При значительном изменении диапазона частот происходит и радикальное изменение их конструктивного исполнения. Поэтому в САПР ФАР как первой основной компонент ГПС ПК системного и функционального проектирования должны быть интегрированы по крайней мере по информации с ПК технического проектирования и АСТПП. Следовательно, собственно САПР ФАР должна быть интегрированной системой и требовать разработки «внутреннего» информационного интерфейса. Практика показывает, что на стыках проектных работ различных уровней проектирования потери времени не меньше, чем на стыке проектирования и изготовления.

В процессе проектирования обязательным видом работ является макетная отработка модуля ФАР (в целом или по частям) в условиях НИИ и КБ, а также экспериментальная отработка в заводских условиях на антенных измерительных стендах. Экспериментально полученные характеристики модуля являются входными данными математической модели ФАР в целом, на базе которой и решаются основные задачи системного проектирования. Результатом этого будет не только определение структуры, варианта и параметров модульной ФАР на макроуровне, но и, возможно, новые требования к выходным характеристикам и пара-

метрам модуля. В этом случае осуществляется его доработка и снова экспериментальная проверка на стендах, т. е. процесс повторяется. Следовательно, интегрированная САПР ФАР должна включать антенные измерительные стенды в виде автоматизированных измерительных комплексов (АИК) и средства передачи данных (по каналу, на МЛ, МД) с АИК в локальную вычислительную сеть САПР.

Процесс производства содержит две основные компоненты: производство составных частей, модулей и элементов ФАР на заводах-изготовителях; сборку антенных конструкций на объектах дислокации модульных ФАР. Организация автоматизированного производства составных частей, модулей и элементов ФАР нередко требует проектирования специальных ГАП (участков или цехов), являющихся составной частью заводских ГПС. Поэтому типовая АСТПП должна быть дополнена задачами проектирования ГАП, которые относятся к задачам технологической подготовки производства, т. е. АСТПП должна содержать САПР ГАП как одну из своих компонент.

Сборочные операции на объектах дислокации должны выполнять также автоматы, а именно манипуляционные роботы (МР), работающие в том числе и по гибкой программе, и входящих в специальную объектовую ГПС. Следовательно, другой важной компонентой АСТПП должна являться автоматизированная система моделирования процессов сборки антенных конструкций с помощью манипуляционных роботов. Входными данными системы, поступающими из САПР, являются: расположение антенных конструкций (например, модулей ФАР) в пространстве, их массогабаритные, динамические характеристики и др. Основным выходным продуктом системы являются управляющие программы для МР объектовой ГПС. Во многих случаях для выполнения сборочных операций требуется создание специальных МР и особенно устройств и систем управления ими. Очевидно, что проектирование устройств и систем управления МР связано с разработкой процессов сборки антенных конструкций. Поэтому система моделирования должна быть дополнена соответствующими средствами, т. е. САПР манипуляционных роботов (САПР МР).

Кроме того, в процессе производства модулей ФАР на заводах-изготовителях и сборки модульных ФАР на объектах дислокации применяются АИК как специальное технологическое оборудование для контроля и настройки. Их проектирование также является важной компонентой технологической подготовки производства. Следовательно, необходимо создание САПР АИК как компонента АСТПП. Входными данными в САПР АИК, поступающими из САПР ФАР, являются характеристики излучения модулей ФАР или ФАР в целом, которые подлежат измерению в заводских или объектовых условиях в зависимости от назначения проектируемого АИК. Выходными данными САПР АИК являются структура, вариант, параметры АИК, определяемые по критериям точности из-



мерений при системном и функциональном проектировании.

Антенностроение, являясь по существу подотраслью промышленности, не имеет, однако, единого административного и экономического управления. Заводы-изготовители, участвующие в создании ФАР, не относятся к специальным заводам по выпуску антенной техники и в значительном объеме заняты выпуском другой продукции, как правило, достаточно большой номенклатуры. Освоение антенной продукции и связанное с ним внедрение новых технологий, робототехники, специальных ГАП зачастую оказывается экономически невыгодно заводу-изготовителю в условиях действующего хозяйственного механизма. Поэтому необходима заблаговременная, начиная с этапа эскизного проектирования, экономическая подготовка производства на базе макро модели промышленного предприятия, рассмотренной в следующей главе. Соответствующий программно-методический комплекс можно использовать как средство расширения возможностей типовых АСУП. Входными данными этого ПМК, поступающими из САПР ФАР и АСТПП, являются: директивные сроки, номенклатура размещаемой на данном заводе антенной продукции и ее количество, номенклатура технологических операций и циклов и их параметры (длительность, трудоемкость, расход ресурсов, коэффициенты параллельности и др.), номенклатура и величина дополнительных основных фондов и трудовых ресурсов при расширении производства.

Выходным результатом данного ПМК является проект плана выпуска продукции, совершенствования и развития производства на пятилетку и его технико-экономическое обоснование.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛ. 16

1. Гаричев С. Н., Максименко М. И. О планировании, организации и оценке результатов автоматизации проектирования в крупных НИИ и КБ//Вестник машиностроения. — 1988. № 12. — С. 58—62.
2. Никольский В. В., Орлов В. П. и др. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ. — М.: Радио и связь, 1982. — 262 с.
3. Гаричев С. Н., Кочетков В. И. Применение программно-целевого метода формирования и реализации межведомственной программы по созданию и использованию средств автоматизации проектирования//Тезисы докл. IV Всесоюз. конф. по проблемам управления развитием систем. — Рига, 1986. — Ч. II. — С. 137—139.