



# Инновационные принципы организации производства крупногабаритных антенн РЛС



**В.П. Марин**

*д.т.н., профессор  
МГТУ МИРЭА,  
президент отделения  
«Качество  
и экология  
производства  
радиоэлектронной  
техники» Академии  
проблем качества*



**В.К. Федоров**

*д.т.н., профессор,  
зав. кафедрой  
«Управление  
инновациями»  
МАТИ – РГТУ  
им. К.Э. Циолковского,  
дейст. член Академии  
проблем качества*



**В.В. Кузнецов**

*к.т.н., доцент,  
директор  
института  
электроники МГТУ  
МИРЭА*



**П.А. Захаров**

*аспирант кафедры  
«Управление  
инновациями»  
МАТИ – РГТУ  
им. К.Э. Циолковского*

В настоящее время техническую основу систем контроля обеспечения безопасности полетов и эффективности использования воздушного пространства составляют традиционные радиолокационные комплексы, ограниченные по дальности действия, точности и функциональным возможностям. Их использование малоэффективно на низких высотах полета, в условиях обеспечения воздушного движения над большими водными пространствами, малонаселенной и труднодоступной местностью.

В этом смысле необычайно актуальной становится задача разработки и внедрения новых и модернизации действующих радиолокационных станций (РЛС), способных обеспечивать высокую надежность и качество благодаря инновационным наукоемким технологиям.

В состав радиолокационной станции входят антенный и аппаратный модули (рис. 1). Антенный модуль состоит из антенной системы, опорно-поворотного устройства с безредукторным приводом вращения, сборной башни, набираемой секциями по 3 м и обеспечивающей высоту подь-

ема фазового центра антенной системы. В целом аппаратный комплекс представляет собой здание контейнерного типа с системой цифровой обработки сигналов, а также первичной и трассовой обработкой радиолокационной информации и связи с потребителями информации, вспомогательные системы (системы электропитания, системы охлаждения, систем контроля и управления и т.д.).

Особую роль в системах РЛС играют фазированные антенные решетки (ФАР) и зеркальные параболические антенны (рис. 2), производство которых в последние 20–25 лет развивается наиболее интенсивно. Их применение позволило увеличить скорость обзора пространства, улучшить характеристики антенных систем, обеспечить возможность многофункциональной работы РЛС различного назначения.

Изготовление антенн РЛС можно разделить на два основных типа: сварочно-сборочное и сборочное.

*Сварочно-сборочное* производство обеспечивает изготовление крупногабаритных металлоконструкций, составляющих основу антенны любой конфи-



Рис. 1. Аэродромный радиолокационный комплекс с первичным и вторичным радиолокатором



Рис. 2. Параболическая антенна в составе РЛС

гурации. К таким металлоконструкциям можно отнести рамы для фазированных антенных решеток, которые обеспечивают необходимую жесткость и прочность конструкции и удовлетворяют компоновочным требованиям. Основными элементами рамных металлоконструкций являются двутавровые и коробчатые балки из листовых и профильных элементов, балки из гнутых элементов, стойки и колонны различных поперечных сечений. При изготовлении зеркальных параболических антенн используют металлоконструкции ферм различных типов и конфигураций, которые способны выдерживать большие ветровые и динамические нагрузки.

Основной негативной проблемой, возникающей в производстве крупногабаритных сварных металлоконструкций всех видов, является деформация (коробление) сварных узлов, которая происходит в результате неравномерного нагрева и охлаждения свариваемых деталей. Эта проблема решается применением сварочно-сборочных приспособлений, с помощью которых можно обеспечить быстрый отвод тепла, что значительно уменьшает деформацию. Этого добиться можно также путем жесткого закрепления металлоконструкции в приспособлении до полного его остывания после сварки. Приспособления могут использоваться также для создания обратной деформации. В этом случае при сборке детали закрепляются в таком

положении, чтобы деформация после сварки привела их в положение, заданное чертежом.

Инновационный технологический прорыв в изготовлении крупногабаритных металлоконструкций для антенн РЛС обеспечен нами за счет разработки размерно-параметрического ряда многофункциональных, унифицированных сборно-разборных сварочных приспособлений – стапелей (рис. 3). Это позволило кардинально изменить технологию изготовления крупногабаритных металлоконструкций.



Рис. 3. Многофункциональный сборно-разборный сварочный стапель

Анализ использования многофункциональных сварочных ступелей показал их следующие важные инновационные преимущества:

- быстро и с высокой точностью осуществляется фиксация деталей на рабочей позиции ступеля;
- модульные системы ступелей, состоящие из крепежных плит, мостовых балок, соединительных блоков и т.п., позволяют собирать и сваривать крупногабаритные металлоконструкции;
- значительные размеры поверхности достигаются соединением нескольких плит, присоединением отдельных плоскостей к базовой плите, установкой сварочных крепежных плит и мостовых балок на специальные направляющие рельсы, вмонтированные в пол сварочного участка;
- новая система фиксации позволяет жестко зафиксировать изделия при малых физических усилиях;
- создание проекта для изготовления металлоконструкции занимает несколько часов;
- легко обеспечивается позиционирование свариваемых изделий в пространстве;
- можно применять детали системы приспособлений для любых вариантов сварки без дополнительной переналадки оборудования (за счет тщательно спроектированной конструкции нужная деталь может быть перемещена всего за несколько минут и зафиксирована уже на новом рабочем месте).

В производстве крупногабаритных металлоконструкций антенн наиболее энергоемкой технологической операцией является их термическая обработка. Для более эффективного использования топливно-энергетических ресурсов применяются различные технологии пластического деформирования поверхности металлов: (поверхностного наклепа) – дробью, обкаткой роликом, чеканкой, пластическим обжатием и т.п.

Для снижения напряжения и стабилизации геометрических размеров сварной конструкции применяется виброобработка. В современных системах виброобработки сварных конструкций используют резонансный способ нагружения.

В сварочном производстве, как известно, применяются механизированные и автоматизированные процессы сварки. Создание эффективного оборудования для сварочных процессов с использованием современных информационных технологий позволяет повышать качество сварных швов и добиваться роста производительности труда.

Решение этих задач достигается применением в сварочном производстве такого инновационного метода, как полуавтоматическая сварка в среде защитного газа. Дуговая сварка в среде защитных газов, инертных или активных, – это одна из самых современных технологий сварочного производства.

Главными достоинствами этого процесса сварки являются высокая производительность и высокое качество сварного шва.

Одним из достоинств этого способа сварки является также низкое тепловложение, особенно при сварке короткой дугой (при сварке с короткими замыканиями), что делает этот способ наиболее подходящим для сварки во всех пространственных положениях.

В целях соблюдения точности выполнения работ по изготовлению антенного устройства была разработана методика контроля кривизны отражающей поверхности. Выполнение требований этой методики обеспечивается применением специальной оснастки – сборочного ступеля. Металлоконструкция каркаса антенны устанавливается в ступель на опорные устройства в виде винтовых домкратов с возможностью их осевых и угловых перемещений. После выставления антенны относительно центра фокальной оси проводится юстировка отражающей поверхности.

Для изготовления параболической поверхности антенны прибегают к различным методам юстировки (рис. 4). Как правило, используется оптико-геодезическая юстировка либо применя-



Рис. 4. Сборка антенны для метеорологической РЛС



ются специальные кондукторы, прикрепляемые к рабочему элементу шаблона. Остальные методы, такие как радиотехнический или трехкоординатные контрольно-измерительные машины, имеют, соответственно, ограничение по точности и габаритным размерам юстируемого зеркала антенны.

Наиболее точным является процесс юстировки отражающей поверхности антенны оптико-геодезическим методом с помощью нивелира и теодолита. Основные недостатки этого метода: высокая трудоемкость процесса юстировки, сопряженная с необходимостью проведения большого объема вычислений для каждого положения реперных точек на отражающей поверхности, применение специальной аппаратуры и поддержание необходимых условий измерения.

Устранение недостатков достигается путем внедрения инновационных промышленно-геодезических систем, позволяющих определять координаты точек на поверхности объекта с высокой скоростью и точностью до сотых долей миллиметра при габаритах антенны до нескольких десятков метров.

К таким системам относятся:

- лазерные трекеры;
- лазерные сканирующие, фотограмметрические, мультитеодолитные и тахеометрические системы.

Новые наукоемкие инновационные технологии, применяемые в изготовлении отражающей поверх-

ности антенн, позволяют решать следующие задачи:

- полный контроль формы отражающей поверхности;
- определение взаимного положения и ориентации элементов зеркальной системы;
- формирование заданной геометрии зеркальной и облучающей систем;
- исследование главных осей инструмента;
- привязка нулей и эталонирование шкал отсчетных устройств;
- исследование весовых и температурных деформаций зеркальной системы для последующего учета этих ошибок при эксплуатации радиолокационного комплекса.

Учитывая изложенное, следует отметить, что без внедрения механизмов и технологий эффективной реализации инновационных подходов добиться высокого качества построения технологических процессов производства антенн РЛС невозможно.

## Литература

1. Ветер В.В., Белкин Г.А., Самойлов М.И. Инновационные процессы в сварке и металлургии. Изд-во Гравис, 2011.
2. Лашенко Г.И., Демченко Ю.В. Энергосберегающие технологии послесварочной обработки металлоконструкций. Экотехнология, 2008.

