

## Экспериментальные исследования характеристик СКИ РЛС

Г.В. Анцев, А.В. Бондаренко, М.В. Головачев, А.В. Кочетов, К.Г. Лукашов, О.С. Миронов, П.С. Панфилов, В.А. Парусов, В.Л. Райский, В.А. Сарычев

*АО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург, Новосельковская,37, [radar@radar-mms.com](mailto:radar@radar-mms.com).*

*Разработана конструкция сверхкороткоимпульсной (СКИ) РЛС с электрическим движением луча. Получены радиолокационные изображения местности в дециметровом диапазоне длин волн и проведена практическая оценка характеристик СКИ РЛС.*

СКИ РЛС используют для своей работы импульсы электромагнитных волн очень малой (минимальной) длительности, то есть пространственная их протяженность меньше характерного размера цели. Такие импульсы формируются антенной РЛС при ее непосредственном возбуждении генератором сверхкоротких импульсов, который формирует короткий видеоимпульс. Длительность фронта перепада напряжения генератора СКИ составляет единицы наносекунд и менее, а амплитуда напряжения в согласованной нагрузке может достигать величины 1 кВ и более.

При возбуждении антенны РЛС генератором СКИ в свободное пространство излучаются импульсы электромагнитных волн длительностью не более 1-2 периода колебания волны. При этом закон формирования, распространения и преобразования при рассеянии коротких импульсов электромагнитных волн подчиняется законам электродинамики.

Фактически, электромагнитный импульс, излучаемый СКИ РЛС, представляет собой элементарный “чип”, из которого во времени можно сформировать сложный радиолокационный импульс. Спектр частот элементарного электромагнитного импульса перекрывает весь литерный диапазон частот, отведенный СКИ РЛС, что существенно затрудняет как его обнаружение, так и его подавление средствами РЭБ. В тоже время сама СКИ РЛС не восприимчива к традиционным средствам РЭБ, предназначенным для подавления работы относительно узкополосных РЛС.

Для работы СКИ РЛС необходимо формировать пространственно-временную диаграмму направленности с учетом амплитудно-фазовых соотношений электромагнитных волн, излучаемых в свободное пространство передающей антенной решеткой и падающих электромагнитных волн из свободного пространства на приемную антенную решетку.

Блок схема СКИ РЛС с электрическим сканированием луча представлена на рис. 1.

Антенная система СКИ РЛС представлена 4-х элементной передающей антенной решеткой и 8-ти элементной приемной антенной решеткой. В качестве элементов антенной решетки выбраны СКИ излучатели линейной вертикальной поляризации [1].

Излучатели передающей антенной решетки подключены к выходам генераторов СКИ. Вход генераторов СКИ подключен к системе управления сканированием и задержки запуска генератора СКИ. Генератор СКИ имеет выход обратной связи для контроля момента формирования СКИ на выходе генератора.

Электрическое сканирование диаграммы направленности передающей и приемной антенной решетки осуществляется во временной области. В этом случае каждый излучающий элемент передающей антенной решетки возбуждается своим генератором СКИ, а перемещение луча передающей антенной решетки в свободном пространстве производится посредством введения прогрессивной временной задержки запуска генераторов СКИ.

Система управления сканированием выполнена на основе микросхемы LKM04906. Шаг временной задержки запуска генераторов СКИ составляет 25 пс. Исходя из того, что элементы антенной решетки размещены на расстоянии 600 мм, шаг электронного перемещения луча в свободном пространстве составит  $1.43^\circ$ . В режиме калибровки система управления сканированием определяет начальные задержки запуска генераторов СКИ для синхронного формирования импульса излучения от всех генераторов.

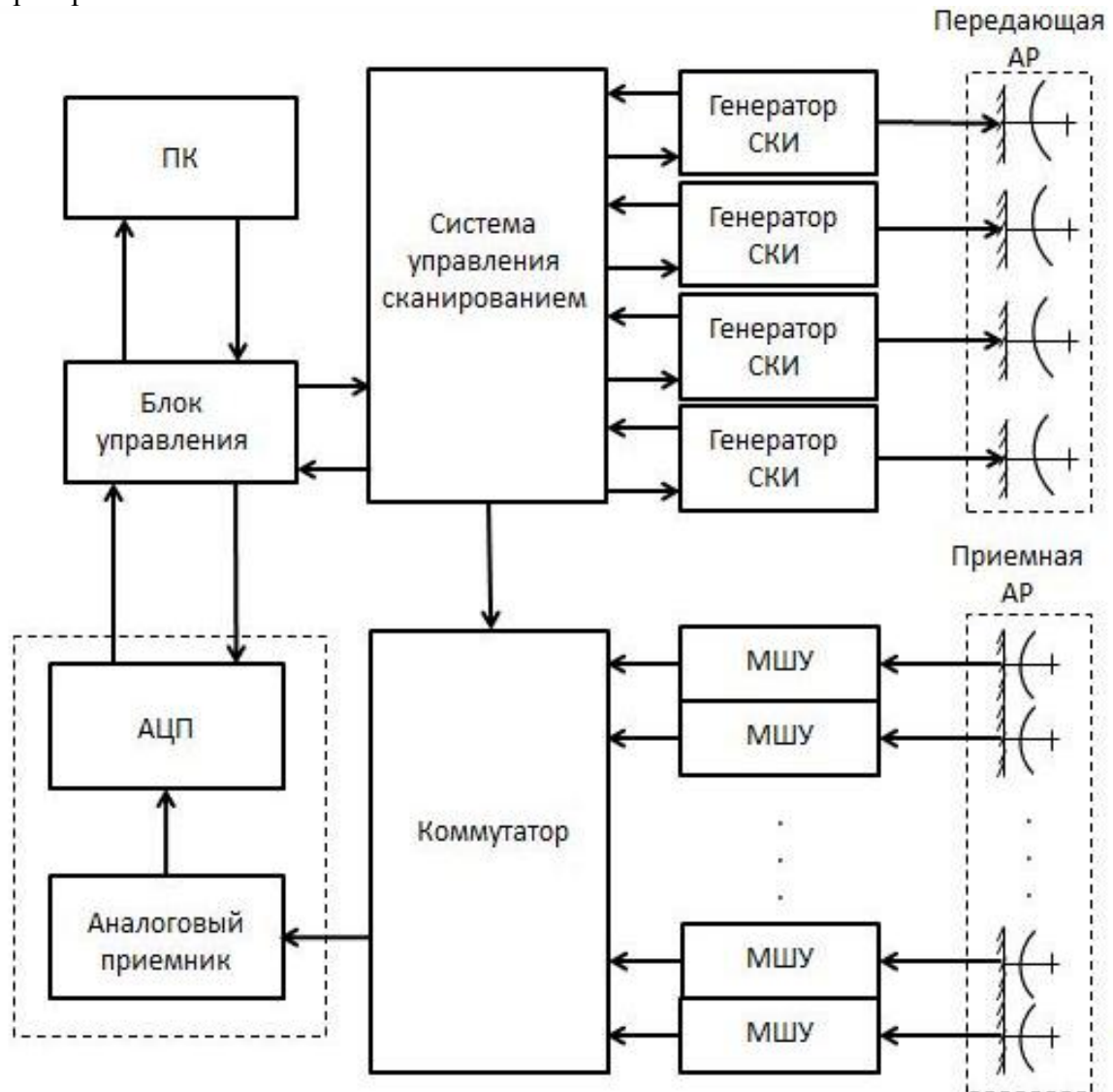


Рис. 1. Блок-схема СКИ РЛС с электрическим сканированием луча.

Электрическое сканирование диаграммы направленности передающей и приемной антенной решетки осуществляется во временной области. В этом случае каждый излучающий элемент передающей антенной решетки возбуждается своим генератором СКИ, а перемещение луча передающей антенной решетки в свободном пространстве производится посредством введения прогрессивной временной задержки запуска генераторов СКИ.

Система управления сканированием выполнена на основе микросхемы LKM04906. Шаг временной задержки запуска генераторов СКИ составляет 25 пс. Исходя из того, что элементы антенной решетки размещены на расстоянии 600 мм, шаг электронного

перемещения луча в свободном пространстве составит  $1.43^\circ$ . В режиме калибровки система управления сканированием определяет начальные задержки запуска генераторов СКИ для синхронного формирования импульса излучения от всех генераторов.

На рис. 2 приведена фотография мобильной экспериментальной лаборатории (МЭЛ) с размещенной на ней аппаратуре СКИ РЛС.

Антенная система МЭЛ СКИ представлена передающими и приемными антеннами для излучения сверхкоротких импульсов.

Антенная система представляет собой две антенных решетки – передающая и приемная. Антенные элементы решеток выполнены разных размеров. Для передающей антенной решетки размер антенного элемента составляет  $600 \times 500$  мм. Шаг размещения элементов передающей антенной решетки равен 600 мм. Размеры антенных элементов приемной решетки уменьшены в масштабе 1:1.5. Шаг размещения элементов приемной антенной решетки – 400 мм. Входное сопротивление антенных элементов передающей и приемной решеток соответствует 75 Ом.

Из-за смещения спектра частот отраженных от целей импульсов электромагнитных волн в сторону высших частот, антенные элементы приемной антенной решетки и шаг размещения приемных элементов могут быть уменьшены. Это обстоятельство позволяет эффективно бороться с появлением дифракционных максимумов в результирующей диаграмме направленности антенной системы СКИ РЛС.

Передающие и приемные антенны обеспечивают режим электронного сканирования луча и установлены на поворотной мачте с механическим вращением. Механическим вращением всей антенной системы выбирается сектор для электронного сканирования СКИ РЛС.



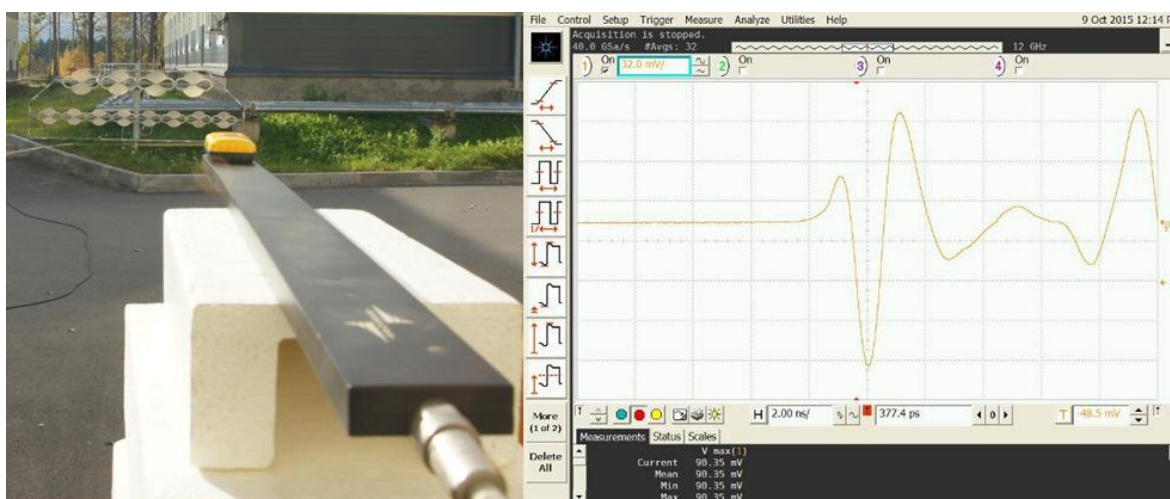
**Рис. 2. Мобильная экспериментальная лаборатория СКИ РЛС.**

На рис. 3 приведена установка для измерения характеристик электромагнитного поля и импульс напряженности электромагнитного поля, возбуждаемый передающей 4-х элементной антенной решеткой.

В состав установки для измерения характеристик входят: датчик напряженности электрического поля ИППЛ-Л-Н41, измерительный осциллограф, лазерный дальномер. Датчик напряженности электрического поля ИППЛ-Л-Н41 разработки ВНИИОФИ аттестован и имеет временное окно для проведения измерений величиной 9 нс.

Полоса частот, занимаемая радиоимпульсом напряженности электрического поля, составляет величину от 200 до 600 МГц. Таким образом, отношение верхней и нижней границы частот спектра радиоимпульса составляет величину, полностью соответствующую критерию СШП сигнала:

$$\frac{f_B - f_H}{f_B + f_H} = \frac{1}{2}.$$



**Рис. 3. Измерение параметров зондирующего электромагнитного сигнала**

Электрическое сканирование луча в приемной антенной решетке поясняется на рис. 4.

Положение коммутатора синхронизировано с начальной задержкой фронта волны излучения передающей антенной решеткой таким образом, что радиолокационные сигналы поступают в переключаемые приемные элементы с заданного направления синхронно.

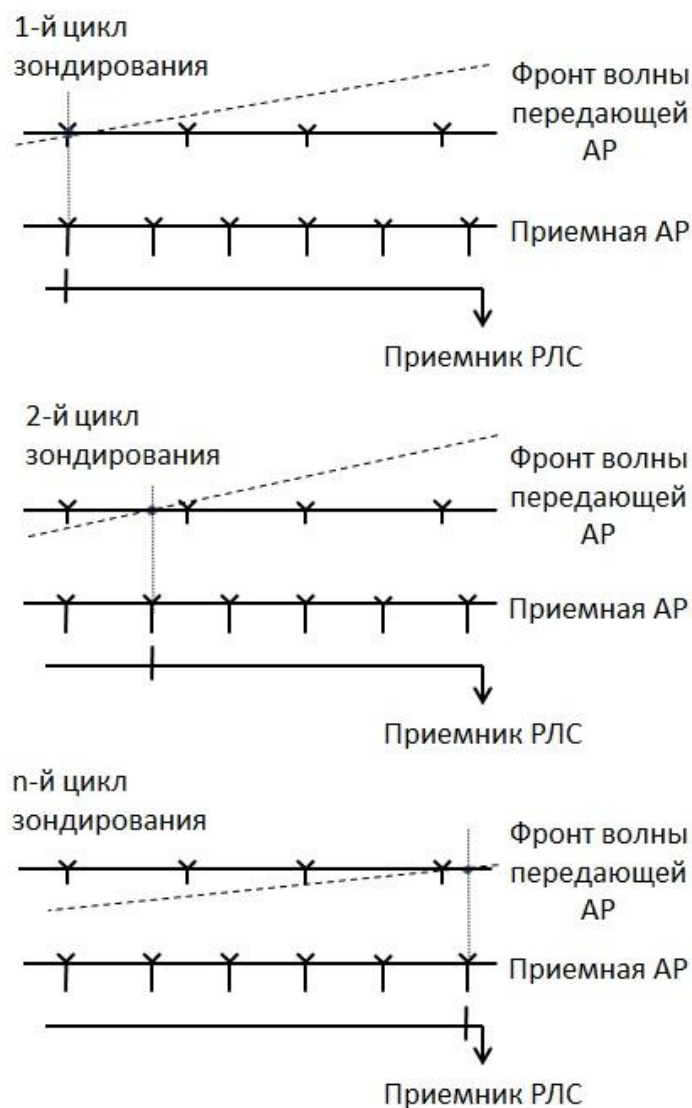
Аналоговый приемник СКИ РЛС построен по схеме, предложенной в [2], и подключен к приемной антенной решетке через коммутатор. Квадратурный выход аналогового приемника подключен к двухканальному аналого-цифровому преобразователю (АЦП). Частота дискретизации АЦП составляет величину 500 МГц.

Из АЦП цифровой поток данных радиолокационного зондирования поступает через блок управления на персональный компьютер (ПК).

Программа управления и обработки данных выставляет фронт волны излучения передающей антенной решетки на заданный угол, формирует электрическую задержку фронта волны передающей антенной решетки относительно положения коммутатора приемной антенной решетки, производит накопление радиолокационной информации и синтезирование апертуры приемной антенной решетки в заданном направлении.

Коммутатор поочередно подключает приемные элементы антенной решетки к приемнику РЛС. В ПК производится накопление и запоминание зондирующих радиолокационных сигналов. По окончании цикла коммутации в ПК производится суммирование запомненных отсчетов и отображение радиолокационной информации с заданного направления.

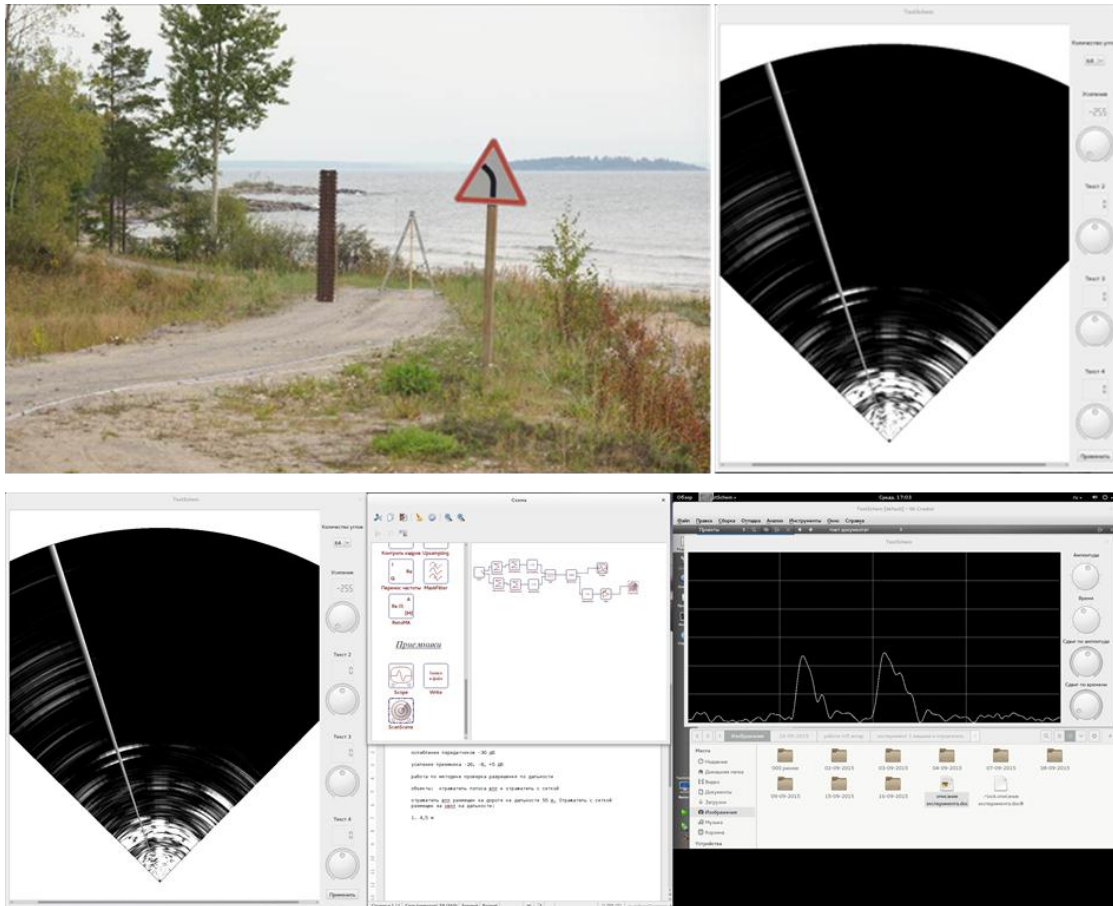
Обработка информации СКИ РЛС производится в ОС Linux. Программное обеспечение ведет прием радиолокационной информации от АЦП по Ethernet-каналу, производит математическую обработку квадратурных каналов приемного устройства, выдает необходимую информацию для отображения на дисплее оператора.



**Рис. 4. Электрическое сканирование луча в приемной антенной решетке.**

На рис. 5 и рис. 6 приведено радиолокационное изображение местности, полученное при электрическом сканировании луча передающей антенной решеткой. Сектор сканирования составляет  $\pm 45^\circ$ .





**Рис. 5. Радиолокационное изображение контрольной мишенной обстановки.  
(масштаб развертки радиолокационного изображения 150 м)**

На рис. 5 отчетливо видны отражения от контрольной мишенной обстановки и отражения радиолокационного сигнала, обусловленные рассеянием электромагнитных волн на одиночных стволах деревьев и рельефа местности.

Контрольная мишенная обстановка представлена знаком, установленным на металлическом столбе высотой 2 м, металлической полосой размером 0.6 x 3.0 м., и сетчатым отражателем, установленным на треноге. Все три элемента уверенно различаются: до знака – 30 м, до полосы – 53 м, до сетчатого отражателя – 57 м. На экране отчетливо видны отметки от полосы и сетчатого отражателя, расстояние между которыми составляет 4 м.

Уровень отражений от стволов деревьев при вертикальной поляризации излучения и приема СКИ сигналов практически сопоставим с отражениями от металлических отражателей.

На рис. 6 приведено радиолокационное изображение местности при работе по острову, находящемуся в озере на удалении около 2 км. Поверхность острова – гранит, покрыт растительностью – лес смешанного типа с преобладанием хвойных пород. Обозначены контуры острова и небольшого залива на нем.

Угловое разрешение СКИ РЛС недостаточно для детализации центров рассеяния мишенной обстановки, расположенной на большом удалении.



**Рис.6. Радиолокационное изображение местности СКИ РЛС: острова.  
(масштаб развертки радиолокационного изображения 600 м)**

Коммутационный режим электрического сканирования диаграммы направленности приемной антенной решетки СКИ РЛС, по сути, представляет собой режим электронного синтезирования апертуры антенной системы радиолокатора. Антенные элементы передающей и приемной решеток могут быть расположены на любой поверхности, а синтез апертуры антенной системы РЛС может осуществляться с учетом реальных задержек возбуждения антенных элементов и формирования антенного луча в заданном направлении. При значительной апертуре передающей или приемной антенных решеток диаграмма направленности СКИ РЛС может быть сфокусирована в ближнюю зону и обеспечить высокое разрешение, как по дальности, так и по линии пути движения носителя СКИ РЛС.

Предложенный способ формирования диаграммы направленности приемной антенной решетки посредством управления задержками излучения электромагнитных импульсов передающей решетки существенно упрощает построение СКИ РЛС. У таких РЛС нет сложных диаграммо-образующих схем [3], но другой стороны, при обработке радиолокационного изображения коммутационный режим электрического сканирования приемной АР СКИ РЛС увеличивает время, необходимое для синтезирования диаграммы направленности приемной антенной решетки.

### **Литература**

1. Кочетов А.В. Антенна для излучения сверхкоротких импульсов // Труды российского научно-технического общества электроники и связи имени А. С. Попова. Серия: акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации. Выпуск VI. - М.: 2013. С. 151-153.
2. Устройство для усиления сверхширокополосного сигнала. Патент РФ № 2497270.
3. Верба В.С., Курочкин А.П. Антенно-фидерные и оптоэлектронные устройства. / под ред. Курочкина А.П. - М.: Радиотехника. 2014.