

## Радиолокация водной среды с использованием сверхкороткоимпульсной РЛС

Г.В. Анцев, И.Г. Анцев, А.В. Кочетов, В.Л. Райский

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

*Сверхкороткоимпульсной РЛС проведена практическая радиолокация металлических предметов, находящихся под водой. Получены экспериментальные данные по обнаружению металлического отражателя, находящегося под толщей воды.*

Радиолокация в материальных средах, электрические параметры которых значительно отличаются от соответствующих параметров воздуха, имеет важные практические применения, среди которых подповерхностная радиолокация и подводная радиолокация с использованием сверхкороткоимпульсных (СКИ) сигналов.

Вследствие значительного затухания радиоволн, распространяющихся в таких средах, дальность действия радиолокационных систем (РЛС) невелика. Такие РЛС должны иметь минимальную мертвую зону, высокую чувствительность приемного устройства, высокую стабильность опорных частот и когерентность спектра рабочих частот сформированного импульса - этим требованиям в полной мере удовлетворяют СКИ РЛС.

Подводная радиолокация – это относительно новое направление радиолокации, имеющей целью обнаружить объекты, которые способны рассеивать радиоволны в среде с высоким значением диэлектрической проницаемости и проводимости. Несмотря на небольшую дальность действия при работе под водой, такие системы могут иметь практическое применение при обследовании неглубоких водоемов и акваторий. Радиоволны, сформированные СКИ генераторами способны проникать на небольшую глубину водоемов и отражаться от находящихся на глубине предметов. На это указывают многочисленные данные, полученные при использовании систем подповерхностной радиолокации [1].

Для натурального эксперимента по обнаружению металлического отражателя в воде выбран регион Ладожского озера. На берегу имеется деревянный пирс длиной 15 м. На краю пирса расстояние от поверхности воды до дна составляет 3 м. В качестве металлического отражателя использовалась сварная алюминиевая рама, на которую закреплена металлическая сварная сетка с ячейей 50 x 50 мм. Размеры отражателя: 0.8 x 1.55 м.

Схема натурального эксперимента с использованием СКИ РЛС приведена на рис. 1.

В соответствии с условиями эксперимента на поверхности воды располагаются передающая и приемная антенны СКИ, которые подключены кабелем L1 и L2 к приемно-передающей аппаратуре СКИ РЛС.

Описание СКИ РЛС и ее характеристики приведены в [2].

Передачик СКИ РЛС формирует видеоимпульс амплитудой 1 кВ. Форма видеоимпульса представлена на рис. 2.

Длительность переднего фронта составляет 0,8 нс.

По условиям натурального эксперимента передатчик связан с антенной достаточно длинным кабелем (L1 = 100м.). Кабелем такой же длины связана с комплексом СКИ РЛС и приемная антенна (L2 = 100м.). Суммарные потери на кабеле связи составили 29 дБ.

Кроме того, существенные потери имели место из-за рассогласования антенн, находящихся в воде с высоким значением диэлектрической проницаемости, так как каких либо специальных мер по согласованию передающей и приемной антенн и

изоляции от воды точек питания антенн не предпринималось и оценка потерь из-за рассогласования антенн, находящихся в воде, не производилась.

На рис. 3 приведены фотографии антенн и отражателя перед погружением на дно.

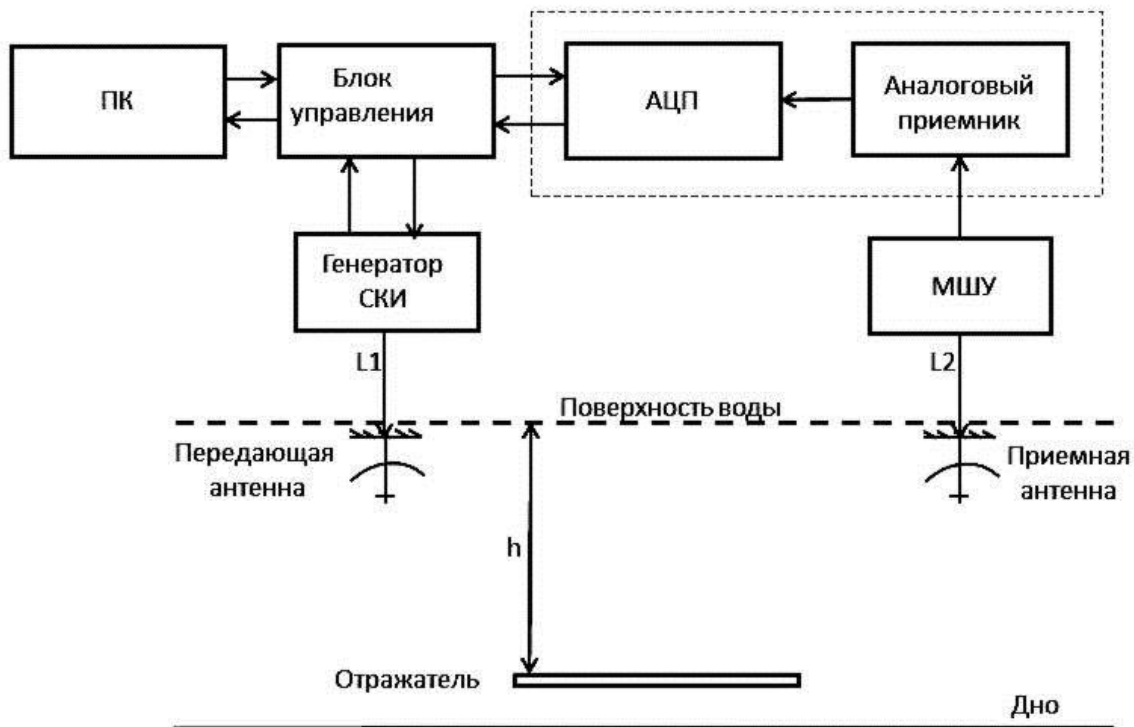


Рис. 1. Схема натурального эксперимента радиолокационного зондирования.

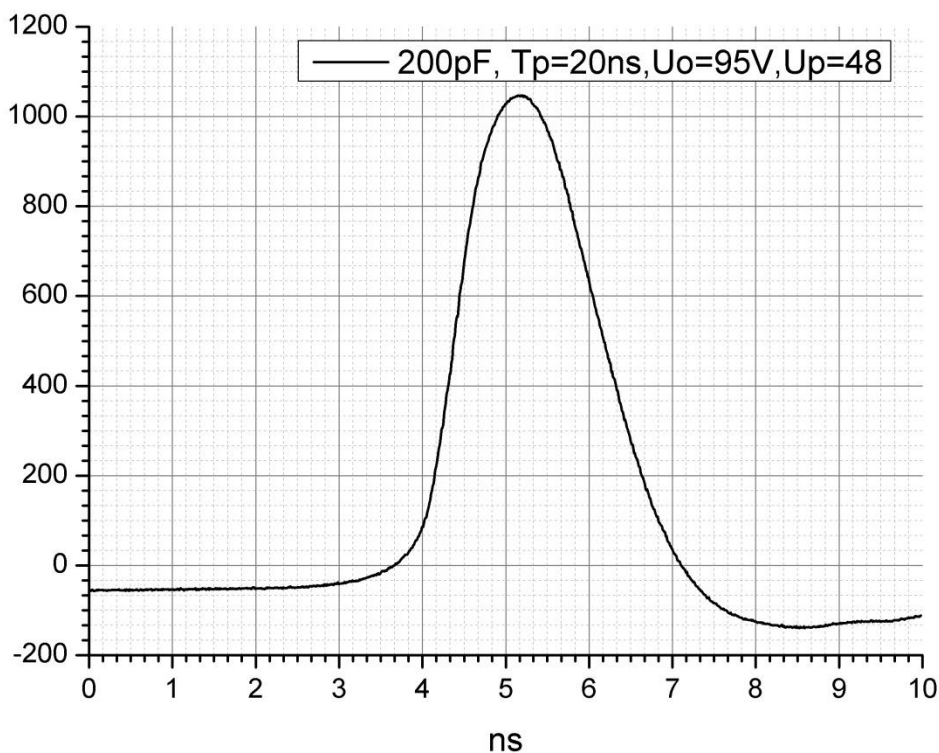


Рис. 2. Форма импульса генератора СКИ.

Как видно из рис. 3, передающая и приемная антенны СКИ РЛС находятся непосредственно в воде, что существенно образом влияет на электрические параметры самих антенн. Учитывая высокое значение диэлектрической проницаемости воды, размеры приемной и передающей антенн выбраны существенно меньшими размерами, чем размеры антенн, предназначенных для излучения в свободное пространство. В данном эксперименте размеры этих антенн в 2.5 раза меньше, чем размеры антенн, необходимые для излучения электромагнитного импульса в свободное пространство.

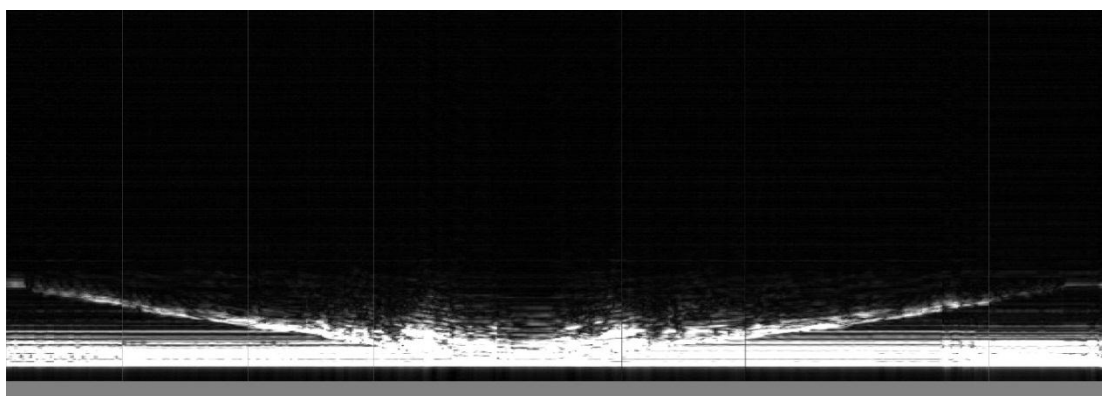


**Рис. 3. Антенны СКИ РЛС и отражатель в воде.**

В процессе эксперимента отражатель плавно опускался в глубину на дно водоема, а затем плавно поднимался. Результаты радиолокационного зондирования отображались на экране дисплея.

На рис. 4 показаны результаты радиолокационного зондирования СКИ РЛС.

Как видно на рис. 4, металлический отражатель уверенно обнаруживается на глубине 3-х метров.

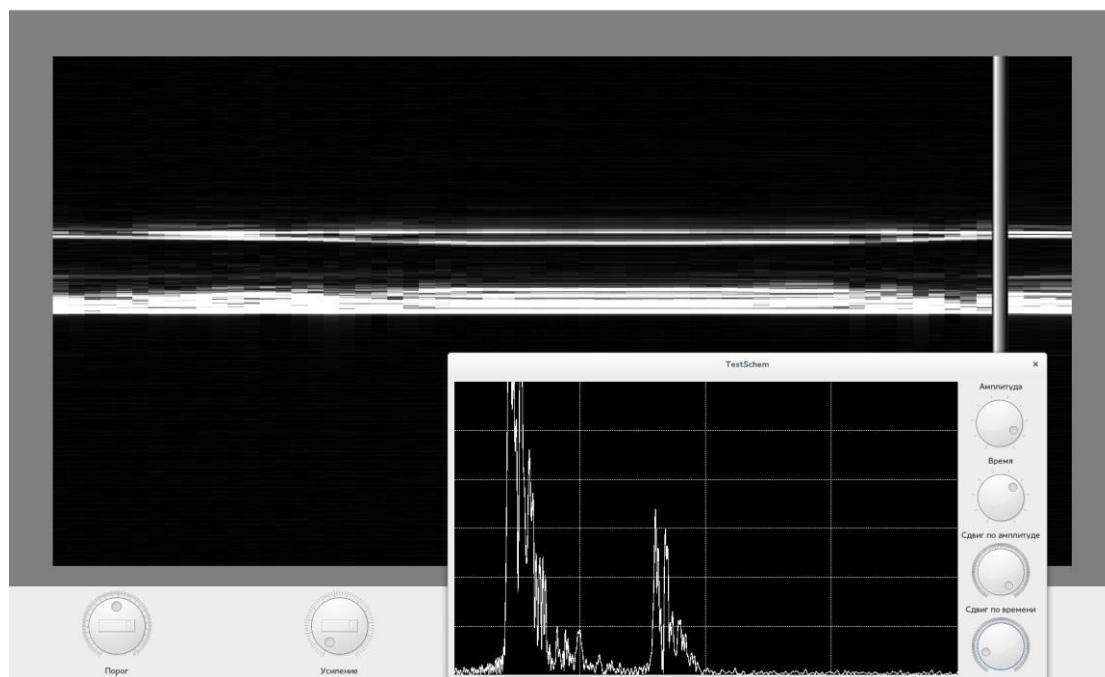


**Рис. 4. Результаты радиолокационного зондирования в воде.**

При перемещении отражателя из глубины к поверхности воды (середина графика рис. 3) наблюдаются сильные переотражения импульсов электромагнитной волны от границы раздела вода-воздух и собственно металлическим отражателем.

На рис. 5. показано раздвоение отраженного импульса от отражателя, находящегося на глубине 3 м. В этом эксперименте отражатель лежал на дне неподвижно, а передающая и приемная антенны плавно погружались на глубину до 0.4 м. от поверхности воды.

Амплитуды электромагнитных импульсов, поступающих на вход приемного устройства практически равны.



**Рис. 5. Раздвоение отраженного импульса при погружении антенн.**

При локации металлических предметов в водной среде с помощью СКИ РЛС необходимо учитывать тот факт, что электрические размеры предметов находящихся в электрически плотной среде увеличиваются пропорционально квадратному корню из значения диэлектрической проницаемости среды. Это значит, что диаграмма обратного переотражения, например, от плоского металлического листа становится узкой. Антенная система СКИ РЛС, находящаяся в этой среде, может быть существенно уменьшена. Существенно уменьшается и эффективная разрешающая способность СКИ РЛС по дальности. Все это говорит о перспективности систем подводной локации с использованием технологии СКИ РЛС.

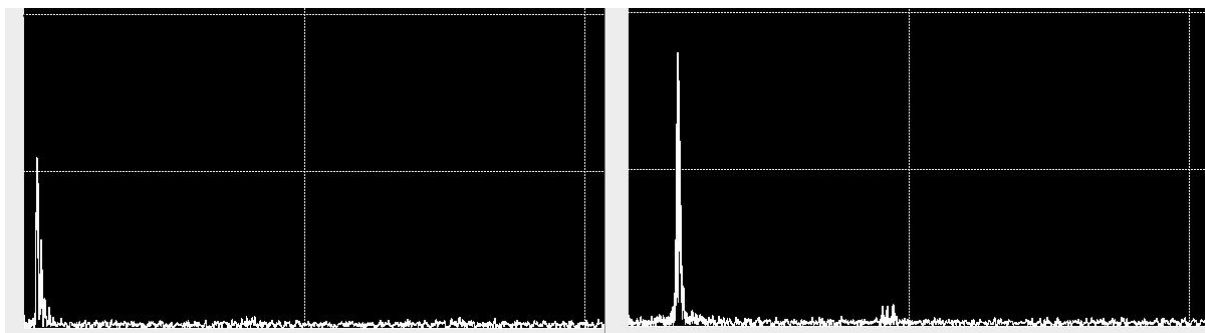
По результатам серии наблюдений прохождения радиоимпульса от передающей антенны СКИ к приемной определен коэффициент замедления времени прохождения радиоимпульса от передающей антенны к приемной.

В этой серии экспериментов фиксировалось время задержки прохождения радиосигнала, когда передающая и приемная антенны находились в воде, относительно времени прохождения радиосигнала, когда антенны находились в воздухе. Задержка времени прихода радиоимпульса фиксировалась в зависимости от расстояния между антеннами.

На рис. 6 показаны осциллограммы электромагнитного импульса, когда антенны находятся в воздухе и в воде. Расстояние между антеннами 5 м.

На рис. 7 показаны условия эксперимента по определению времени задержки прихода радиоимпульса, когда антенны СКИ находятся в воде и в воздухе.

Как видно из рис. 6 электромагнитный импульс после прохождения в воде не разрушается. Более того, его амплитуда несколько увеличивается за счет лучшего согласования малых антенн, находящихся в среде с высокой диэлектрической проницаемостью.



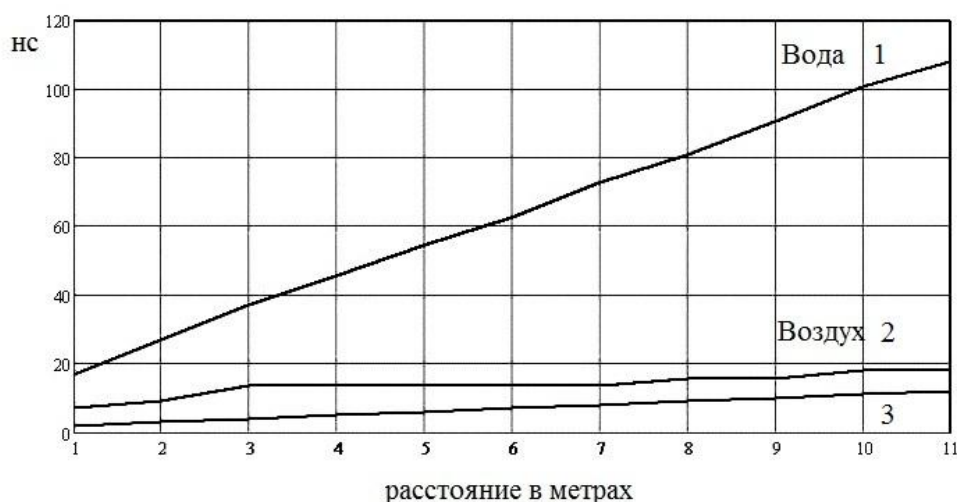
**Рис. 6. Прохождение электромагнитного импульса в воздухе и воде**



**Рис. 7. Определение задержки времени прихода электромагнитного импульса.**

На рис. 8 приведены результаты измерений задержки прохождения радиоимпульса в воде и воздухе. По мере увеличения расстояния между передающей и приемной антеннами СКИ в воде существенно увеличивается задержка времени прихода радиоимпульса (1). Задержка времени прихода радиоимпульса в воздухе показана (2), линия (3) показывает теоретическую задержку времени прихода радиоимпульса в воздухе без учета начального сдвига.

Для каждого значения расстояния между передающей и приемной антеннами СКИ производилось измерение времени прихода электромагнитного импульса как перед погружением антенн СКИ в воздух, так и в воду при их погружении. При известной теоретической задержке сигнала СКИ в воздухе и при известном расстоянии между антеннами производилось вычисление коэффициента замедления прохождения сигнала СКИ в воде по отношению к воздуху.



**Рис. 6. Задержка прохождения радиоимпульса в воде (1) и воздухе (2,3) в зависимости от расстояния между передающей и приемной антеннами СКИ РЛС.**

Коэффициент замедления времени прохождения радиоимпульса от передающей антенны к приемной оказался равным 9.094. Это соответствует значению диэлектрической проницаемости среды (вода, пресная) равному 82,7.

Результаты натурального эксперимента по радиолокационному зондированию неглубоких водоемов с использованием технологии СКИ РЛС подтверждают возможность обнаружения радиолокационно контрастных целей в материальной среде акваторий.

### **Литература**

1. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие - М.: Издательство МГУ, 2008.
2. Устройство для усиления сверхширокополосного сигнала. Патент РФ № 2497270.