

Калабухов Виктор Анатольевич

Ткачев Дмитрий Викторович

## **Нелинейная радиолокация: принципы сравнения.**

Нелинейный радиолокатор (НЛР), как средство поиска, является сложной технической системой оцениваемой множеством показателей качества. В настоящей работе предлагается метод оценки одного из показателей эффективности: соответствия НЛР основной цели - способности обнаруживать объекты поиска.

Способность нелинейного радиолокатора (НЛР) обнаруживать технические средства любого назначения, содержащие электронные компоненты, обуславливает постоянный, высокий потребительский спрос на эту аппаратуру. Простая в эксплуатации, с универсальными возможностями и по заявлению всех без исключения производителей эффективная техника широко используется для решения разнообразных задач

Кажущаяся очевидность принципов построения НЛР и высокий спрос привели к появлению большого разнообразия моделей. Приборы отличаются техническими характеристиками, конструкцией антенн и, следовательно, возможностями. Предлагаем рассмотреть вариант критериев объективного сравнения моделей НЛР, реализующих гармонический метод нелинейной радиолокации.

Наиболее важной характеристикой НЛР является соответствие его основной цели – обнаружению скрытно установленных технических средств, имеющих в своем составе элементы с нелинейной вольтамперной характеристикой. Методика работы с НРЛ может быть разбита на два этапа:

- регистрация отклика;
- идентификация обнаруженного объекта.

Решение первой задачи определяет эффективность поиска т.е. количество вариантов технических средств и условиями их установки, которые могут быть обнаружены или нет.

Идентификация т.е. возможность принятия решения о характере обнаруженного нелинейного отражателя (искусственный или естественный -

коррозионный) и в каком состоянии он находится ( включен или выключен) определяет производительность поиска.

Цель настоящей статьи – предложить объективный критерий сравнения эффективности разных моделей НРЛ.

Практика работы с НРЛ позволяет сделать вывод, что скорость перемещения антенны вдоль поверхности обследуемого объекта, а также расстояние до объекта поиска для всех НЛР приблизительно одинаковы, поэтому объективное сравнение моделей НЛР можно было бы осуществлять по максимальной дальности обнаружения некоторого эталонного нелинейного отражателя. К сожалению это практически невозможно из-за организационных сложностей согласования конструкции такого отражателя с производителями аппаратуры и проведения регулярных сравнительных испытаний.

Свойства нелинейных объектов рассеивать зондирующий сигнал на  $n$ -ой гармонике количественно оценивается нелинейной эффективной поверхностью рассеяния (НЭПР) -  $\sigma_n$ . Заметим, что априорная оценка НЭПР объекта поиска в силу объективных обстоятельств невозможна. Рабочий диапазон частот объекта поиска не совпадает с частотой зондирующего сигнала и частотой отклика - провести оценку эффективности антенны объекта, как правило не представляется возможным. Нелинейные отражатели отличаются большим разнообразием схемных и конструктивных решений, и оценить уровень сигнала, выделяемого на нелинейном элементе затруднительно.

Модель взаимодействия НЛР с объектом поиска - нелинейным отражателем, в упрощенном виде, описывается выражением [ 1 ]:

$$P_{пр} = \sigma_2 \cdot (P_{пер} \cdot G_{пер} / 4\pi R^2)^2 \cdot G_{пр} / 4\pi R^2,$$

где:  $P_{пер}$  – мощность зондирующего сигнала НЛР на входе передающей антенны;

$G_{пер}$  – коэффициент усиления передающей антенны;

$G_{пр}$  – коэффициент усиления приемной антенны;

$P_{пр}$  – мощность второй гармоники на входе приемника НЛР.

$\sigma_2$  – нелинейная эффективная поверхность рассеяния (НЭПР) объекта поиска на частоте второй гармоники.

Если в последнем выражении положить:

$$P_{пр} = P_{про},$$

где:  $R_{про}$  – пороговая чувствительность приемника (НЛР), то получим:

$$R_{max} = \sigma_2^{1/6} \cdot ((P_{пер} \cdot G_{пер} / 4\pi)^2 \cdot G_{пр} / 4\pi R_{про})^{1/6},$$

где:  $R_{max}$  – максимальная дальность обнаружения гипотетического нелинейного объекта.

Введем в качестве обобщенного показателя эффективности НЛР коэффициент  $K_{эф}$ , кратный максимальному расстоянию обнаружения нелинейного отражателя любого варианта исполнения и определяющего его потенциальные возможности по выявлению нелинейных отражателей:

$$K_{эф} = (P_{пер} \cdot G_{пер})^{1/3} \cdot (G_{пр} / R_{про})^{1/6}$$

В таблице 1 приведены основные сравнительные характеристики НЛР, представленных на рынке России.

Полученное выражение можно преобразовать применительно к некому «оптимальному» НРЛ. Под «оптимальностью» [ 2 ] будем понимать следующее. Плотность потока мощности зондирующего сигнала в месте расположения оператора не превышает санитарных норм, а приемник построен в соответствии с теорией оптимального приема .

В этом случае:

$$P_{пер} \cdot G_{пер} = k(r) \cdot P_{max} \cdot G^*_{пер} \cdot Q,$$

где:  $P_{max}$  - допустимая нагрузка на оператора, определяемая государственным санитарным стандартом (ГОСТ 12.1.006-84);

$k(r)$  – коэффициент ослабления зондирующего сигнала;

$r$  – расстояние от рефлектора передающей антенны до оператора;

$G^*_{пер}$  - коэффициент усиления передающей антенны в обратном направлении;

$Q$  – скважность зондирующего сигнала (Для НЛР с непрерывным зондирующим сигналом  $Q=1$ ).

Значение  $G^*_{пер}$  определяется главным образом габаритами передающей антенны и можно предположить, что для большинства НРЛ это значение, также как и  $k(r)$  одинаковы:

$$P_{пер} \cdot G_{пер} = K_1 \cdot Q,$$

Где  $K_1$  – некоторая константа для любых НРЛ численно равная:

$$K_1 = k(r) \cdot P_{max} \cdot G^*_{пер}.$$

Предельно достижимая чувствительность приемника определяется выражением:

$$R_{\text{про}} = F_{\text{ш}} \cdot k \cdot T \cdot \Delta F_{\text{эф}} \cdot (S/N)$$

Где:  $F_{\text{ш}}$  – коэффициент шума приемника;

$k$  – постоянная Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  [Дж/К];

$T$  – абсолютная температура, [К];

$\Delta F_{\text{эф}}$  – эффективная шумовая полоса приемника [Гц];

$(S/N)$  – заданное отношение сигнал/шум;

Эффективная шумовая полоса определяется инерционностью системы и не может быть меньше некоторого значения, которое определяется в конечном счете скоростью перемещения антенной системы или временем реакции аппаратуры на изменение уровня входного сигнала –  $T_{\text{р}}$ .

$$\Delta F_{\text{эф}} = Q/T_{\text{р}}$$

После подстановки:

$$R_{\text{про}} = F_{\text{ш}} \cdot k \cdot T \cdot Q/T_{\text{р}} \cdot (S/N).$$

Или:

$$R_{\text{про}} = K_2 \cdot Q,$$

Где:  $K_2 = F_{\text{ш}} \cdot k \cdot T \cdot 1/T_{\text{р}} \cdot (S/N)$ ,

т.к. значения  $F_{\text{ш}}, kT, T_{\text{р}}, (S/N)$  для любого типа НРЛ практически одинаковы.

С учетом сказанного выражение для предельного значения коэффициента эффективности может быть переписано следующим образом:

$$K_{\text{эфопт}} = (K_1 \cdot Q)^{1/3} \cdot (G_{\text{пр}}/K_2 \cdot Q)^{1/6}$$

или:

$$K_{\text{эфопт}} \sim (Q)^{1/6}$$

Импульсная модуляция зондирующего сигнала позволяет обеспечить большую эффективность НРЛ.

Выводы.

1. Предложен метод сравнения НРЛ на основании определения обобщенного показателя эффективности НЛР – коэффициента  $K_{\text{эф}}$ , кратного максимальному расстоянию обнаружения нелинейного отражателя любого варианта исполнения и определяющего его потенциальные возможности по выявлению нелинейных отражателей. Проведенные сравнительные

испытания НРЛ с различными техническими параметрами на большой выборке реальных объектов поиска показали справедливость предложенного метода сравнения.

2. Импульсная модуляция зондирующего сигнала потенциально позволяет обеспечить большую эффективность НРЛ.

#### Литература.

1. Д. Семенов, Д. Ткачев, Нелинейная радиолокация: концепция «NR». //Специальная техника, 1 -2, 1999 г., стр. 17 – 22.
2. В. т. Горяинов, А. Г. Журавлев, В. и. Тихонов, под общей редакцией проф. В. И. Тихонова. Примеры и задачи по статистической радиотехнике. Советское радио, 1970, 600стр.