

**УДК 681.518.54: 621.396.963.32**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВНУТРИТРУБНОГО УСТРОЙСТВА  
СУММАРНО-РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ**

**В.В. Щуплов, С.Н. Кухаренко, Ю.Е. Котова**

*(Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,*

*г. Гомель, Республика Беларусь)*

**Аннотация:** В технологии эксплуатации трубопроводного транспорта применяют устройства, перемещаемые потоком жидкости или газа, и выполняющие различные технологические операции (дефектоскопию, разделение сортов жидкости, очистку внутренней поверхности труб, герметизацию участка трубопровода). Причем, точность определения и позиционирования часто являются решающими при выполнении последующих операций. Приведены результаты математического моделирования суммарно-разностного метода пеленгации и эксперимента.

## THE IN-TUBE DEVICE LOCATION FINDING BY MONOPULSE METHOD

**V.V. Shchuplov, S.N. Kukharenska, Y.E. Kotova**

*(Sukhoi State Technical University of Gomel, c. Gomel, Belarus)*

**Abstract:** Locating the in-tube device by a monopulse method (total-difference method). The devices moved by a flow of liquid or gas are used in the technology of operation of pipeline transport. These devices perform various technological operations (flaw detection, separation of liquid grades, cleaning of the internal surface of pipes, sealing of the pipeline section). Moreover, the accuracy of determination and positioning is often decisive in the performance of subsequent operations. The article presents the results of mathematical modeling of the monopulse method of direction finding and experiment.

Устройства, перемещаемые потоком жидкости или газа, принято называть внутритрубными устройствами (ВУ). Определение местоположения внутритрубного устройства является актуальной задачей при использовании управляемого технологического оборудования.

Существующие технические решения и методики [1] не позволяют с достаточной для практики точностью определить местоположение ВУ. Разброс определения места нахождения ВУ составляет несколько метров. Существующие методики можно отнести к разряду поисковых индикаторов.

Целью данной работы является разработка методики и аппаратных решений, позволяющих определять местонахождение ВУ с полуметровой погрешностью.

Гипотетически можно предположить возможность достижения поставленной цели за счет применения двух приемных антенн. Наличие двух приемных антенн позволяет решить задачу определения места нахождения снаряда в трубопроводе, используя моноимпульсный метод пеленгации в одной плоскости [2]. Известны три основных метода пеленгации: фазовый, амплитудный и суммарно-разностный.

Суммарно-разностный амплитудный метод является наиболее приемлемым для случая низкочастотного сигнала. Этот метод позволяет исключить влияние амплитуды и фазы сигналов на стабильность пеленгационной характеристики и обеспечить наибольшую точность определения направления на источник сигнала. Особенностью предлагаемого метода пеленгации ВУ является разнесение двух приемных антенн вдоль оси трубопровода.

Поэтому, при достижении поставленной цели решались следующие задачи: 1) математическое моделирование пеленгационной характеристики для случая линейного расположения двух антенн; 2) разработка структурной схемы для реализации предложенного метода; 3) экспериментальное исследование предлагаемого метода.

Возможность использования суммарно-разностного метода при соосном разнесении двух антенн основана на том, что на низкой частоте антенны имеют практически одинаковые фазовые характеристики. То есть, разнос антенн

эквивалентен их повороту симметрично относительно равносигнального направления (РСН).

Передающая и приемные антенны представляют собой многослойные катушки, которые можно рассматривать как рамочные антенны с диаграммой направленности (ДН)  $F(\alpha) = \cos(\alpha)$ .

Принцип формирования суммарно-разностных каналов поясняет рисунок 1 на котором ДН изображены в полярных координатах.



Рисунок 1 – Метод пеленгации при соосном расположении антенн

Приемные антенны A1 и A2 с диаграммами направленности ДН-1 и ДН-2 с максимумами в направлении осей X1 и X2 соответственно разнесены друг от друга на расстояние L и от оси T трубопровода на расстоянии h.

Суммарный канал формируется суммированием, а разностный канал разностью сигналов с выхода антенн. Это эквивалентно формированию суммарной  $F_c(\alpha_1, \alpha_2)$  и разностной  $F_p(\alpha_1, \alpha_2)$  диаграмм направленностей.

Амплитуды сигналов на выходе суммарного  $U_c(\alpha_1, \alpha_2)$  и разностного  $U_p(\alpha_1, \alpha_2)$  каналов после усиления будут равны:

$$U_c(\alpha_1, \alpha_2) = k_c [F_1(\alpha_1) + F_2(\alpha_2)] = k_c F_c(\alpha_1, \alpha_2)$$

$$U_p(\alpha_1, \alpha_2) = k_p [F_1(\alpha_1) - F_2(\alpha_2)] = k_p F_p(\alpha_1, \alpha_2)$$

где  $k_c$  и  $k_p$  – коэффициенты усиления каналов;  $F_1(\alpha_1)$ ,  $F_2(\alpha_2)$  – диаграммы направленности антенн A1 и A2;  $F_c(\alpha_1, \alpha_2)$ ,  $F_p(\alpha_1, \alpha_2)$  – суммарная и разностная диаграммы направленности.

Пеленгационная характеристика при суммарно-разностном методе определяется отношением:

$$U_{\text{вых}}(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{k_p}{k_c} \cdot \frac{F_p(\alpha_1, \alpha_2)}{F_c(\alpha_1, \alpha_2)}$$

На рисунке 2 приведена структурная схема суммарно-разностного пеленгатора, которая позволяет получить зависимость  $U_{\text{вых}}(\alpha_1, \alpha_2)$ .

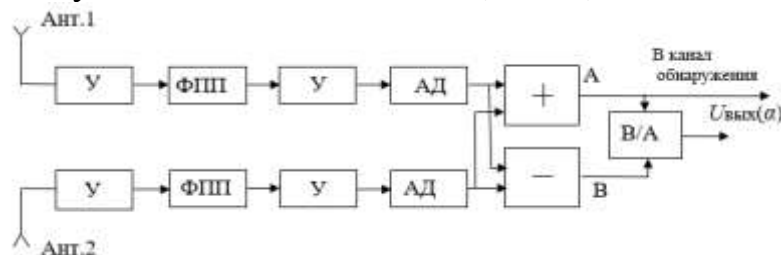


Рисунок 2 – Формирование пеленга на видеочастоте: У – усилитель; ФПП – фильтр полосно-пропускающий; АД – амплитудный детектор; В/А – делитель

При математическом моделировании производился пересчет пеленгационной характеристики  $U_{\text{вых}}(\alpha_1, \alpha_2)$  в пеленгационную характеристику  $F_{\text{п}}(Tx)$  как функции от  $Tx$  (см. рисунок 1) по формуле:

$$F_{\text{п}}(Tx) = \frac{\cos^2(\alpha_1(Tx)) - \cos^2(\alpha_2(Tx))}{\cos^2(\alpha_1(Tx)) + \cos^2(\alpha_2(Tx))}$$

где  $\alpha_1(Tx) = \arctg\left(\frac{\frac{L}{2}-Tx}{h}\right)$ ;  $\alpha_2(Tx) = \arctg\left(\frac{\frac{L}{2}+Tx}{h}\right)$ .

Результаты моделирования для одного из вариантов расположения антенн относительно трубопровода приведены на рисунке 3 ( $L = 1.2$  м,  $h = 3.5$  м;).

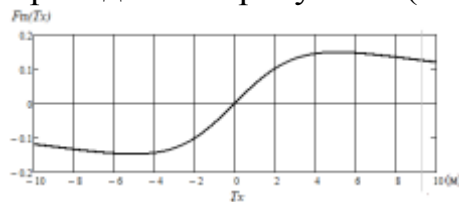


Рисунок 3 – Пеленгационная характеристика  $F_{\text{п}}(Tx)$

С целью подтверждения теоретических решений выполнены экспериментальные исследования предлагаемого метода. В эксперименте, с расположением антенн в соответствии с рисунком 1, регистрировалось выходное напряжение на клеммах антенн с последующим вычислением  $F_{\text{с}}$  и  $F_{\text{р}}$ . Результаты практического исследования приведены на рисунке 4. Логическое сопоставление максимума характеристики  $F_{\text{с}}$  и нулевого уровня  $F_{\text{р}}$  позволяет определять местоположение ВУ с достаточной для практики точностью.

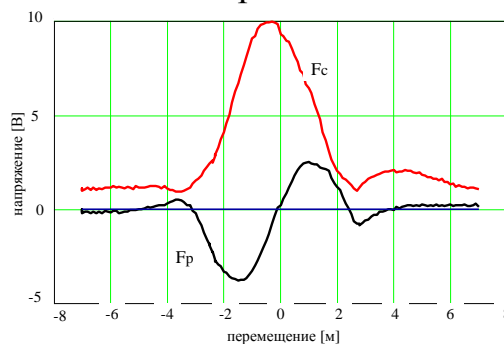


Рисунок 4 – Экспериментальная зависимость выходного напряжения антенн при их линейном перемещении и расстоянии  $h = 3,5$  метра

Математическое моделирование показывает: эквивалентность линейного разноса антенн их повороту относительно РСН; связь длины линейного участка пеленгационной характеристики с расстоянием до трубопровода –  $h$ .

Разработана структурная схема пеленгатора и реализована соответствующая установка, позволившая провести экспериментальные исследования.

Результаты эксперимента совпали с результатами математического моделирования, что позволяет создавать устройства для практической реализации.

#### Список использованных источников

1. Крышнев, Ю.В. Проектирование беспроводного канала связи для управления клапаном управляемого внутритрубного герметизатора / В.М. Гарбуз, В.А. Старостенко, С.Н. Кухаренко, Л.А. Захаренко, Э.М. Виноградов, А.В. Сахарук, М.В. Столбов, В.М. Лукашев // Вестник гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого №1. – Гомель. – 2012, С.29-34.

2. Васин В. В. Радиолокационные устройства / Власов О. В., Григорин-Рябов В. В. и др. - М.: Советское радио, 1970. –С. 450-451.