

более совершенных методов и средств неразрушающего контроля теплопроводности материалов.

С учетом приведенных данных, и исходя из поставленной задачи измерения термисторные датчиком температуры в узком диапазоне температур относительно опорной, целесообразнее использовать сравнительный метод, со стабилизацией измерительного напряжения на усилителе. Подключение измерительного датчика к измерительному осуществляется по двухпроводной схеме, поскольку изменение температуры на выводах термистора будет в узком диапазоне в окрестности рабочей точки, и не будет существенно влиять на результаты измерения. Питание измерительного моста происходит постоянным током, так как одновременно производится измерение в двух каналах, и на них будут действовать одновременно те же погрешности, что позволяет их не учитывать.

1. Калинин, А.Н. Неразрушающий сравнительный метод и интерполяционный прибор для

УДК 681.2

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕВЕРБЕРАЦИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДНА В ГИДРОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗОМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

Чан Тай Чонг

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

При разработке гидролокаторов мониторинга морского дна наряду с обеспечением высокой разрешающей способности на большой дальности особое внимание необходимо уделять и обеспечению высокой контрастности изображения, то есть обеспечению высокого отношения сигнал/помеха в элементе разрешения.

В движущемся ГЛ с синтезом апертуры антенны (САА) защита от реверберационных помех осуществляется естественным образом в ходе когерентного междупериодного накопления полезных сигналов, соответствующих отражениям от центров анализируемых элементов 3-мерного пространства. Междупериодное когерентное накопление в ходе движения ГЛ осуществляется на длительном интервале (единицы секунд) в соответствии с индивидуальными законами изменения фаз полезных сигналов, которые отличаются от законов изменения фаз помеховых сигналов ревербераций.

В прямоугольной системе координат  $X, Y, Z$  зона обзора, в которой будет формироваться изображение, разбивается на трехмерные блоки, соответствующие одному интервалу САА. Произвольный разрешаемый объем в блоке обозначим номером  $(j, g, h)$ , причем  $j = \overline{1; N_X}$ ,  $g = \overline{1; N_Y}$ ,  $h = \overline{1; N_Z}$ , где  $N_X, N_Y, N_Z$  - количе-

экспресс-измерений теплопроводности твердых тел на основе двухточечного зондирования поверхности [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Калинин ; [Сибирский государственный ин-т метрологии] . — Новосибирск., 1994. — 5 с.

2. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. — М. : Высш. шк., 1967. — 600 с.

3. Декуша, О. Л. Прибор для для экспресс измерения коэффициента теплопроводности твердых материалов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Л. Декуша ; [Ин-т технической теплофизики] . — Киев., 2013. — 7 с.

4. Бурова, З.А. Установка для вимірювання коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів ИТ-7С / З.А. Бурова, Л.Й. Воробийов, Л.В. Декуша, О.Л. Декуша // Метрологія та прилади. Харків, 2009. № 6. — С. 9-15.

5. Бадьин Г.М. Справочник по измерительному контролю качества строительных работ. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 464 с.

ство элементов разрешения в блоке по соответствующим осям координат.

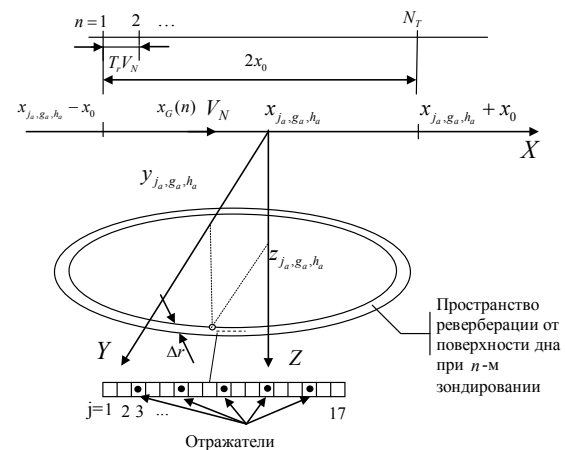


Рисунок 1 - Пояснение к определению пространства реверберации в  $n$ -ом зондировании

При обработке сигнала, отраженного от  $(j_a, g_a, h_a)$ -го разрешаемого объема, САА выполняется за время  $T_{САА}$  при движении ГЛ со скоростью  $V_N$  параллельно координате  $X$  (см. рисунок 1) в интервале  $[x_{j_a, g_a, h_a} - x_0; x_{j_a, g_a, h_a} + x_0]$ , где  $x_0 = V_N T_{САА} / 2$  половина пространственного интервала САА, а количество зондирующих сиг-

налов (ЗС), формируемых в ГЛ с периодом повторения  $T_r$  за время САА, составляет  $N_T = T_{САА} / T_r$ .

Сигнал ревербераций в ходе  $n$ -го зондирования является суммой сигналов, отраженных от всех отражателей, находящихся в объеме, ограниченном двумя поверхностями, вне главного лепестка. Граница ближайшей поверхности описывается выражением [2]:

$$\left(1 - \left(\frac{V_N}{c_v}\right)^2\right) \left(x_{j_a, g_a, h_a} - x_0 + (n-1)V_N T_r - x\right)^2 + y^2 + z^2 - \left[\frac{V_N (c_v^2 - V_N^2) t_z(n, j_a, g_a, h_a)}{c_v^2}\right] \left(x_{j_a, g_a, h_a} - x_0 + (n-1)V_N T_r - x\right) - \left(\frac{c_v^2 - V_N^2}{2c_v}\right)^2 (t_z(n, j_a, g_a, h_a))^2 = 0,$$

а граница второй сдвинута на величину разрешающей способности по дальности  $\Delta r$ ,  $c_v$  - скорость распространения акустической волны в воде.

**Сопоставительный анализ влияния ревербераций на качество формирования изображения дна в типовом ГЛ и в ГЛ с САА.** Сопоставительный анализ проведен путем математического моделирования для типового ГЛ, в котором высокое разрешение обеспечивается за счет узкой диаграммы направленности антенны (ДНА) с большой физической апертурой, и для ГЛ с САА при одинаковых значениях длины волны и ширины спектра ЗС. Основное требование к обоим ГЛ – одинаковые линейные размеры разрешающих способностей по азимуту на дальности анализа  $r_a$  в ГЛ с большой физической апертурой  $\Delta L_{Ph} = 2r_a \sin(\Delta\beta_{Ph} / 2)$  при ширине ДНА  $\Delta\beta_{Ph}$  и в ГЛ с САА  $\Delta L_{САА} = 2r_a \sin(\Delta\beta_{САА} / 2)$  при ширине ДНА  $\Delta\beta_{САА}$ , то есть  $\Delta L_{Ph} = \Delta L_{САА}$ .

Анализ проведен путем сопоставления гидролокационных изображений набора отражателей (см. рис. 1) наличия ревербераций. Пространство анализа по азимуту ограничено значением  $\Delta\theta_{ан} = 180$  град.

Для проведения объективной оценки влияния ревербераций шумы приемных устройств не моделировались. При моделировании использовались следующие параметры ГЛ: пиковая мощность  $P_0 = 1$  Вт, длительность импульса  $T_0 = 0,02$  с,  $f_0 = 75$  кГц; закон модуляции ЗС – ЛЧМ с девиацией  $\Delta f_M = 3,75$  кГц; длина волны  $\lambda = 0,02$  м;  $T_r = 0,05$  с; коэффициенты усиления антенн на передачу и прием  $G_{Tr} = G_{Rc} = 50$ ; коэффициенты преобразования мощности электрического сигнала в мощность акустического поля и коэффи-

циент преобразования мощности акустического поля в мощность электрического сигнала:  $K_{P-Tr} = 0,5$ ;  $K_{P-Rc} = 0,5$ ; уровень боковых лепестков ДНА  $\eta = -15$  дБ; разрешающие способности по  $X, Y, Z$ :  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0,5$  м;  $V_N = 5$  м/с, время САА  $T_{САА} = 6$  с и длина физической апертуры антенны  $l_A = 1$  м;  $c_v = 1495$  м/с; первый разрешаемый объем имел координаты  $x_{1,1,1} = 20$  м;  $y_{1,1,1} = 600$  м,  $z_{1,1,1} = 1375$  м; ЭОП каждого из пяти отражателей (см. рис. 1), создававших полезные сигналы,  $\sigma_t = 0,5$  м<sup>2</sup>; ЭОП каждого отражателя, создававшего реверберации,  $\sigma_r = 0,1$  м<sup>2</sup>, а количество этих отражателей в секторе анализа: 1260.

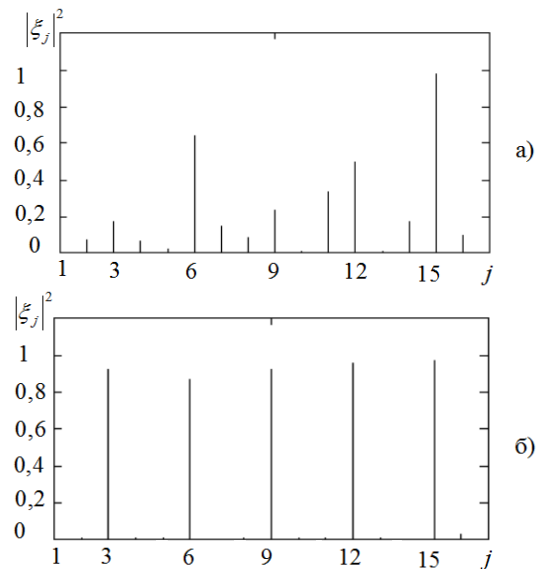


Рисунок 2 – Изображения на выходах устройств обработки при наличии ревербераций: а) в ГЛ с большой физической апертурой; б) в ГЛ с САА

Результаты аналогичного моделирования при наличии ревербераций представлены на рисунке 2.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

*во-первых*, реверберации негативно влияют на построение изображения поверхности дна в движущемся ГЛ с большой апертурой физической антенны, в котором не реализуется когерентное между периодное накопление. Отсутствие когерентного накопления в движущемся ГЛ не позволяет выделить полезные сигналы на фоне сигналов ревербераций, что исключает получение в таком ГЛ изображений подводных объектов с низкой контрастностью относительно поверхности дна. Наиболее эффективно такие движущиеся ГЛ могут работать при отсутствии источников ревербераций, что гипотетически возможно при расположении ГЛ и наблюдаемых объектов на сравнительно большом удалении как от поверхности дна, так и от поверхности воды.

Во-вторых, гидролокаторы с САА обладают наиболее высокой устойчивостью к воздействию ревербераций. Это обеспечивается использованием специального междупериодного накопления, позволяющего выполнить как сверхразрешение элементов поверхности дна, так и отделение полезных сигналов от сигналов ревербераций на основе учета индивидуальности законов изменения фаз полезных сигналов при движении ГЛ относительно анализируемой поверхности.

1. Чан Тай Чонг, Гейстер С.Р. Анализ возможностей защиты от сигналов ревербе-

УДК 620.179.14

## КОНТРОЛЬ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Лухвич А.А.<sup>1</sup>, Шарандо В.И.<sup>1</sup>, Шукевич А.К.<sup>1</sup>, Янушкевич К.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Республика Беларусь

Нержавеющие стали аустенитного класса широко используются в современном машиностроении. При этом особенности их механических и коррозионных свойств в значительной мере обеспечивает ферромагнитная составляющая, откуда вытекает важность её определения в данных материалах. Наиболее целесообразно проводить контроль качества аустенитных сталей с помощью магнитных методов. Следует учитывать, что структура и фазовый состав контролируемого материала зависит от его термомеханической обработки. Так, согласно [1], в недеформированных сталях ферромагнитная фаза отождествляется с  $\delta$ -ферритом. При прокатке появляются значительные количества мартенсита [2], имеющие другие магнитные свойства. Эти явления должны учитываться при проведении исследований и в оценке результатов контроля.

В Институте прикладной физики НАН Беларуси разработан магнитодинамический метод неразрушающего контроля, основанный на измерении потока индукции магнитного поля рассеяния от намагниченного участка объекта исследования [3]. При этом измеряемый сигнал является функцией намагниченности информативной области и зависит только от значений индукции в конечных положениях преобразователя (контакт с объектом и расстояние, где полем его остаточной намагниченности можно пренебречь). Метод и соответствующие приборы имеют высокую чувствительность к слабым вторичным магнитным полям, что позволяет прогнозировать возможность их применения для экспресс-контроля малых содержаний ферромагнитной составляющей в аустенитных нержавеющих сталях.

рации при гидроакустическом синтезе апертуры антенны//Технические средства защиты информации: материалы XI Белорусско-российская науч.-тех. конф. 5-6 июня 2013, Минск, Респ. Беларусь. – С. 27.

2. Чан Тай Чонг. Морская реверберация в гидролокаторе с синтезом апертуры антенны // Тезисы. докл. 50-ой научной конференции аспирантов, магистрантов, студентов БГУИР «Радиотехнические системы», 7 мая 2013 г., Минск, Беларусь. – С. 10.

Целью работы является адаптация магнитодинамического метода для выявления магнитно упорядоченных фаз в нержавеющих сталях.

Материалом для исследований была выбрана широко используемая в атомном машиностроении сталь 12Х18Н9 в виде пластины толщиной 5,2 мм в состоянии поставки (прокатка).

Из пластины изготовлены шлифованные образцы размером  $25 \times 25 \times 5 \text{ мм}^3$ , а также кубики  $4 \times 4 \times 4 \text{ мм}^3$  и  $3 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$ . Параллельные пары граней кубиков обозначались как 1-1\*, 2-2\* и 3-3\*. При этом для всех кубиков нормали к парам граней 1-1\* и 2-2\* лежали в плоскости прокатки, а к паре 3-3\* – были перпендикулярны ей.

Для идентификации фаз, ответственных за наличие магнитно упорядоченной составляющей, и оценки их количества необходимо знание удельной намагниченности материала и температуры Кюри. Такие измерения выполнены для образцов  $3 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$  с помощью сертифицированной установки пондеромоторного принципа действия (МВИ. МИ 3128-2009) в магнитном поле с индукцией  $B=0,86 \text{ Тл}$  в температурном интервале  $80 \div 1100 \text{ К}$  при нагреве и охлаждении со скоростью  $0,2 \div 0,5$  градуса в секунду. Графическая зависимость приведена на рисунке 1.

Температурный гистерезис удельной намагниченности стали (её величина при  $300 \text{ К}$  составляет при нагреве  $\sigma_T=2,0 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$  и при охлаждении  $\sigma_T=1,4 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ) указывает на изменения в кристаллической структуре и фазовые превращения. Из рисунка следует существование двух ферритных фаз. Одна из них имеет температуру Кюри  $T_C=825 \div 850 \text{ К}$  и ближе всего совпадает с соединением FeNi ( $T_C=835 \div 840 \text{ К}$ , удельная намагниченность около  $145 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ). Количество, исходя из  $\sigma_T=1,4 \text{ А} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ , составляет