

ВИХРЕТОВЫЕ ПРОХОДНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ЗАМКНУТЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ



А. В. Семенов,
ООО «ИНТРОН ПЛЮС»,
Москва, Россия.
E-mail: asemenov@intron.ru

На примере задачи вихретокового контроля мультистрендовых канатов рассмотрены проходные вихретоковые преобразователи (ВТП), предназначенные для неразрушающего контроля линейно протяженных объектов, у которых нет доступа к концам, например, вант мостов, канатных дорог или трубопроводов. Рассмотренные ВТП могут быть выполнены разделяемыми на части в азимутальном направлении, что повышает технологичность проведения контроля. Возможность разделения ВТП на части обеспечивается за счет использования седловидных измерительных катушек, седловидных катушек возбуждения или катушек возбуждения разного радиуса. Кроме того, рассмотренные ВТП позволяют повысить соотношение сигнал/помеха.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, вихретоковый контроль, стрендовые канаты, математическое моделирование.

A. V. Semenov (INTRON PLUS, Ltd, Moscow, Russia)

ENCIRCLING EDDY CURRENT TESTING PROBES FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF CLOSED LINEARLY EXTENDED OBJECTS

In this article, using the example of multi-strand rope inspection, encircling eddy current testing (ECT) probes for non-destructive testing of closed linearly extended objects, for example, stay cables, ropeways or pipelines, are considered. These ECT probes can be divided into parts in the azimuthal direction, which increases the technological effectiveness of the control. The possibility of dividing the ECT probes into parts is provided by using of saddle-shaped measuring coils, saddle-shaped excitation coils or excitation coils of different radii. In addition, the considered ECT probes allow to increase the signal-to-noise ratio.

Keywords: non-destructive testing, eddy current testing, multistrand stay cables, mathematical modeling.



Статья поступила в редакцию 20.07.2022

Received 20.07.2022

Введение

Для вихретокового контроля линейно протяженных объектов, таких как трубы, проволока и т.п., обычно используются проходные *вихретоковые преобразователи* (ВТП) [1]. Указанный тип преобразователей позволяет получить оценку контролируемых параметров и обнаружить дефекты сразу по всему периметру контролируемого изделия.

В проходных ВТП для уменьшения влияния радиальных перемещений *объекта контроля* (ОК), как правило, стремятся создать однородное поле, в частности используется датчик с протяженной катушкой возбуждения или датчик на основе колец Гельмгольца [1, 2].

Однако такой датчик обладает и существенными недостатками. Так, при контроле шихтованных структур чувствительность датчика к дефектам во внешних слоях намного превышает чувствительность датчика к дефектам во внутренних слоях. В результате помехи, обусловленные внешними слоями, скрывают сигналы от дефектов во внутренних слоях [3, 4]. Кроме того, достаточно часто протяженные ОК не имеют свободных концов, позволяющих вставить их в ВТП. В качестве примеров можно привести замкнутую канатную дорогу, ванту моста, трубопровод и многие другие объекты. Очевидно, в таких случаях проходной ВТП должен либо наматываться непосредственно на ОК, либо быть разделяемым на части вдоль своей оси. Однако оба варианта являются сложно реализуемыми, особенно

для ВТП на основе протяженной катушки возбуждения.

В работе [4] рассмотрен ВТП на основе узкой катушки возбуждения, позволяющий выровнять чувствительность к дефектам во внутренних и внешних слоях шихтованных структур. Более того, в статье [4] рассмотрен ВТП на основе узкой катушки возбуждения, в котором встречно включенные проходные измерительные катушки дифференциального ВТП заменены системой накладных катушек, что позволяет выполнить измерительную систему дифференциального проходного ВТП разделяемой на части в азимутальном направлении (вдоль оси ВТП). Однако в рассмотренных в работе [4] ВТП по-прежнему не разделяемыми вдоль оси остаются возбуждающая катушка и измерительная катушка абсолютного ВТП. Малая протяженность указанных катушек в осевом направлении отчасти упрощает изготовление ВТП разделяемым на части за счет использования электрических разъемов в витках катушек, но разъемы накладывают ограничения на число витков и снижают технологичность ВТП, так как требуют наличия в конструкции датчика системы точного позиционирования частей ВТП при сочленении. Данная статья посвящена рассмотрению вариантов проходных ВТП, позволяющих разделять их на части в азимутальном направлении без использования электрических разъемов в витках катушек.

Математическая модель

В качестве примера линейно протяженного ОК был выбран стрендовый канат [3]. Для разработки ВТП была использована численная модель, позволяющая моделировать вихретоковый контроль стрендовых канатов [4, 5]. Модель стрендового каната состояла из электрически изолированных друг от друга электропроводящих стержней. Были реализованы математические модели встречающихся на практике стрендовых канатов [3]. Канаты содержали от 1 до 91 стренда. Диаметр измерительных катушек D_n всех рассмотренных далее ВТП, исходя из размеров максимального каната, был выбран равным 300 мм. Были рассмотрены два типа дефектов стрендовых канатов: *локальные дефекты* (ЛД) и *распределенные дефекты*. Модель ЛД представляла собой участок каната, в котором один стренд прерывается на длину 50 мм. В качестве распределенного дефекта рассматривалась протяженная *потеря* площади металлического сечения каната (ПС). Модель ПС представляла собой участок каната, в котором полностью отсутствует один стренд в одном из слоев каната.

Критерии оптимизации

В качестве основного критерия, по которому оптимизировались параметры рассмотренных далее ВТП, была использована следующая расчетная величина (далее относительная вариация амплитуды сигнала):

$$\delta = \left(\max \Delta U_{\text{вн}^*} - \min \Delta U_{\text{вн}^*} \right) / \Delta U_{\text{вн}^* \text{центр}}, \quad (1)$$

где $\max \Delta U_{\text{вн}^*}$ – модуль максимальной амплитуды сигнала среди сигналов от дефектов, расположенных в разных слоях каната; $\min \Delta U_{\text{вн}^*}$ – модуль минимальной амплитуды сигнала среди сигналов от дефектов, расположенных в разных слоях каната; $\Delta U_{\text{вн}^* \text{центр}}$ – модуль амплитуды модулирующего сигнала от дефекта в центральном слое.

В процессе сканирования объекта ВТП перемещается относительно дефекта, в результате чего меняется вносимое напряжение. Под амплитудой сигнала здесь и далее понимается вызванное дефектом приращение относительного вносимого напряжения при таком положении ВТП относительно дефекта, при котором модуль этого приращения максимален [4]. При сравнении сигналов удобнее использовать модуль указанной величины.

В качестве дополнительного критерия, несущего информацию о возможности повышения соотношения сигнал/помеха за счет разделения преимущественно формирующих сигнал и помеху областей ОК в радиальном направлении [4], использовалась следующая расчетная величина (далее соотношение сигналов внешнего и центрального дефектов):

$$\delta_2 = \left(\Delta U_{\text{вн}^* \text{внеш}} - \Delta U_{\text{вн}^* \text{центр}} \right) / \Delta U_{\text{вн}^* \text{центр}}, \quad (2)$$

где $\Delta U_{\text{вн}^* \text{внеш}}$ – модуль амплитуды сигнала от дефекта во внешнем слое; $\Delta U_{\text{вн}^* \text{центр}}$ – модуль амплитуды сигнала от дефекта в центральном слое.

Также при оптимизации дополнительно учитывалась степень влияния магнитных свойств материала стрендов на значение оптимальных параметров ВТП.

Под оптимальными в данной работе понимаются параметры ВТП, соответствующие нулевому значению относительной вариации амплитуды сигнала, нулевому значению соотношения сигналов внешнего и центрального дефектов и не зависящие от магнитных свойств материала стрендов.

Седловидные возбуждающие катушки

Первый вариант возбуждающей системы ВТП, не требующей наличия электрических разъемов, состоит из четырех седловидных катушек (рис. 1). Катушки соединены последовательно (величина тока во всех катушках одинакова), направление тока в катушках показано стрелками. Рассмотрим пару целиком охватывающих ОК седловидных катушек. Ток в параллельных оси ОК и прилегающих друг к другу участках различных катушек направлен в противоположные стороны. Таким образом, показанная на рис. 1 система возбуждающих катушек практически эквивалентна трем узким проходным катушкам возбуждения, соответствующим участкам седловидных катушек, расположенным в ортогональных оси ОК плоскостях. Центральная катушка при этом имеет вдвое больше витков, чем каждая из расположенных по краям катушек.

Пример основанного на такой системе возбуждения ВТП показан на рис. 2. Предназначенные для обнаружения ЛД седловидные измерительные катушки расположены симметрично относительно центра ВТП. Измерительная катушка, предназначенная для измерения ПС, смещена относительно центра ВТП. Очевидно, что по мере увеличения длины седловидных возбуждающих катушек (и сохранении всех остальных размеров ВТП неизменными) влияние расположенных по краям катушек возбуждения будет уменьшаться и результаты такого ВТП будут приближаться к полученным в работе [4] результатам для ВТП на основе одной узкой проходной катушки возбуждения, которые соответствуют указанным критериям оптимизации. Однако длинные седловидные катушки отрицательно влияют на удобство использования такого преобразователя. В связи с этим необходимо подобрать минимальную приемлемую с точки зрения критериев оптимизации длину возбуждающих седловидных катушек.

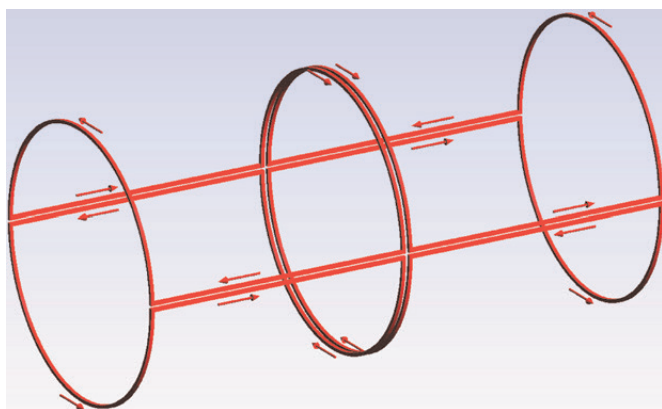


Рис. 1. Возбуждающая система ВТП на основе седловидных катушек

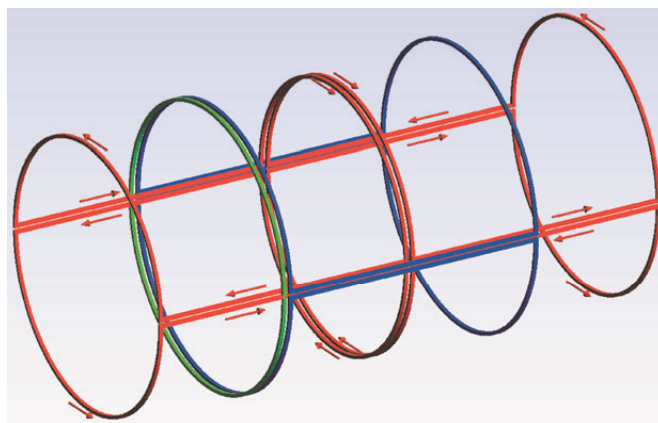


Рис. 2. ВТП с седловидными возбуждающими катушками:

красным цветом показана возбуждающая катушка; синим – катушки для обнаружения ЛД; зеленым – катушка для измерения ПС

Обобщенные результаты численного моделирования рассмотренного ВТП приведены в табл. 1. Видно, что ВТП с длиной седловидных возбуждающих катушек, равной диаметру измерительных катушек D_n (300 мм), обеспечивает приемлемую с практической точки зрения относительную вариацию сигналов.

На рис. 3 приведена зависимость соотношения сигналов ЛД во внешнем и центральном слоях от расстояния между измерительными катушками дифференциального ВТП (базы датчика). На рис. 4 показана зависимость соотношения сигналов ПС во внешнем и центральном слоях от расстояния между измерительной катушкой и центром возбуждающей системы абсолютного ВТП (ось z на рис. 4).

1. Обобщенные результаты моделирования. Седловидные катушки возбуждения, $\mu_r = 2000$

Показатель	Длина седловидных катушек, мм		
	150	300	500
Оптимальная база дифференциального ВТП, мм	155	285	340
Относительная вариация сигналов ЛД	1,20	0,18	0,07
Оптимальное положение измерительной катушки абсолютного ВТП, мм	105	159	194
Относительная вариация сигналов ПС	0,40	0,10	0,08

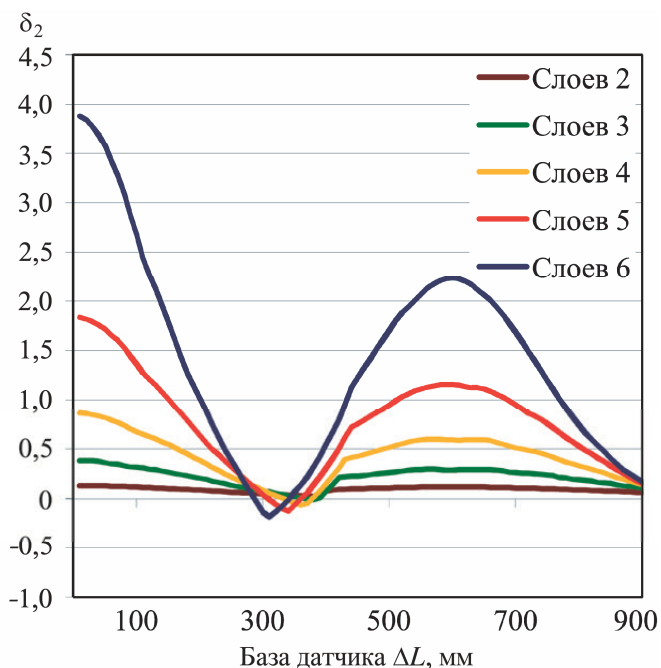


Рис. 3. Влияние базы дифференциального ВТП с седловидными возбуждающими катушками длиной 300 мм на относительную вариацию сигналов ЛД ($\mu_r = 2000$)

Длина седловидных возбуждающих катушек в обоих случаях была равна диаметру измерительных катушек D_n (300 мм). Для других длин седловидных возбуждающих катушек зависимости имеют подобный вид.

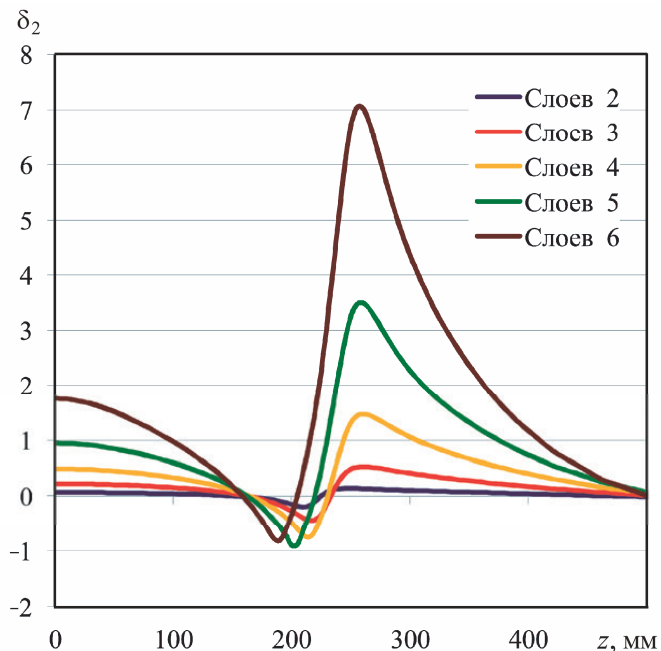


Рис. 4. Влияние положения измерительной катушки абсолютного ВТП с седловидными возбуждающими катушками длиной 300 мм на относительную вариацию сигналов ПС ($\mu_r = 2000$)

2. Обобщенные результаты моделирования. Седловидные катушки возбуждения длиной 300 мм

Показатель	$\mu_r = 100$	$\mu_r = 2000$
Оптимальная база дифференциального ВТП, мм	270	285
Относительная вариация сигналов ЛД	0,08	0,18
Оптимальное положение измерительной катушки абсолютного ВТП, мм	145	159
Относительная вариация сигналов ПС	0,04	0,10

Видно, что для дифференциального ВТП существуют диапазоны длин седловидных измерительных катушек (базы дифференциального ВТП), в которых: сигнал от ЛД во внешнем слое намного превышает сигнал от ЛД в центральном слое; сигнал от ЛД в центральном слое намного превышает сигнал от ЛД во внешнем слое; сигналы от ЛД во внешнем в центральном слоях имеют близкие значения. То же самое можно сказать и про положение измерительной катушки абсолютного ВТП и сигналы от ПС. Это позволяет повысить соотношение сигнал/помеха или создать ВТП, обладающий близкой чувствительностью к дефектам во внешнем и внутренних слоях [4].

Также было проведено численное моделирование для стрендовых канатов с различной дифференциальной магнитной проницаемостью материала стрендов. Краткие результаты моделирования приведены в табл. 2. Видно, что магнитная проницаемость материала стрендов слабо влияет на оптимальное положение катушек.

Таким образом, рассмотренный ВТП удовлетворяет критериям оптимизации. Однако для выполнения ВТП полностью разделяемым на части в азимутальном направлении все еще необходимы электрические разъемы в витках измерительной катушки абсолютного ВТП. Для того чтобы исключить и их, необходимо добавить еще одну проходную измерительную катушку абсолютного ВТП, встречно включенную по отношению к рассмотренной и имеющую то же число витков. Полученная пара проходных катушек может быть заменена седловидными накладными катушками (рис. 5), как это было сделано для измерительных катушек дифференциального ВТП. Очевидно, в однородном поле такой подход был бы невозможен, так как для ПС поток через боковую поверхность цилиндра, образованного измерительными седловидными катушками абсолютного ВТП, в этом случае был бы равен нулю. Седловидные катушки возбуждения

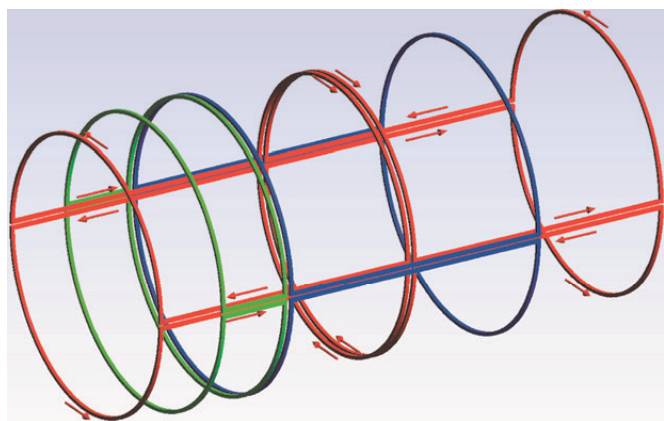


Рис. 5. ВТП с седловидными возбуждающими катушками:

красным цветом показаны возбуждающие катушки; синим – катушки для обнаружения ЛД; зеленым – катушка для измерения ПС

создают неоднородное поле. В неоднородном поле поток через указанную поверхность может быть не равен нулю. Для сохранения свойств рассмотренного абсолютного ВТП с одной проходной измерительной катушкой при добавлении второй проходной измерительной катушки достаточно отыскать такое ее положение, при котором наводимой в ней ЭДС можно пренебречь по сравнению с ЭДС, наводимой в первой катушке, или наводимая в ней ЭДС не зависит от слоя, в котором расположена ПС, но имеет отличное от наводимой в первой катушке ЭДС значение. Так же добиться полученных ранее свойств позволит такое расположение измерительных катушек, при котором влияние того, в каком слое расположена ПС на наводимую ЭДС в обеих катушках, будет идентичным и будет компенсироваться за счет встречного включения.

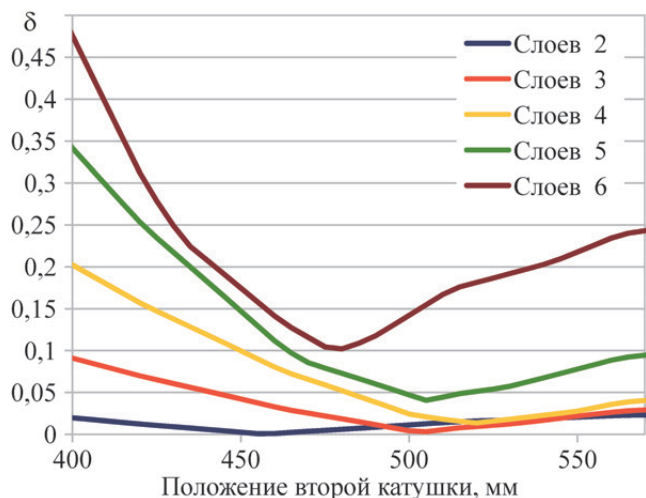


Рис. 6. Влияние положения второй измерительной катушки абсолютного ВТП с седловидными возбуждающими катушками длиной 300 мм на относительную вариацию сигналов ПС ($\mu_r = 2000$)

На рис. 6 показана зависимость относительной вариации сигналов ПС от положения второй проходной измерительной катушки абсолютного ВТП при расположении первой катушки в координате 165 мм ($0,5D_n$) для $\mu_r = 2000$. Видно, что если расположить вторую катушку на расстоянии 480 мм ($1,6D_n$) от центра преобразователя, то отличие сигналов от ПС в разных слоях составит не более 11 %. После оптимизации по критерию наименьшей чувствительности к изменению магнитных свойств оптимальным расстоянием второй катушки от центра преобразователя можно считать 470 мм ($\sim 1,6D_n$). При таком расположении второй катушки отличие сигналов от ПС в разных слоях составит не более 13 % как для $\mu_r = 100$, так и для $\mu_r = 2000$, т.е. при изменении μ_r в широком диапазоне.

Возбуждающие катушки различного радиуса

Следующим вариантом, позволяющим избежать разъемного соединения в катушке возбуждения, является использование катушек разного радиуса (рис. 7). Катушки соединены последовательно (величина тока во всех катушках одинакова), направление тока показано стрелками. Ток в прилегающих друг к другу участках различных катушек возбуждения направлен в противоположные стороны, в результате чего рассматриваемая система катушек при условии близости расположения торцов катушек практически эквивалентна системе из двух узких проходных катушек возбуждения разного радиуса, намотанных вокруг ОК.

Пример ВТП на основе описанной системы возбуждения показан на рис. 8. Предназначенные для обнаружения ЛД седловидные измерительные катушки расположены симметрично относительно центра ВТП. Измерительная катушка, предназначенная для измерения ПС, смещена относительно центра ВТП. Очевидно, что по мере увеличения радиуса внешней катушки (при сохранении всех остальных размеров ВТП неизменными) влияние внешней катушки будет уменьшаться и результаты такого ВТП будут приближаться к полученным в работе [4] результатам для ВТП на основе одной узкой проходной катушки возбуждения, которые соответствуют указанным выше критериям оптимизации. Однако большой радиус ВТП ухудшает его эксплуатационные характеристики, так как требует большего свободного пространства вокруг каната при установке ВТП на ОК и при проведении сканирования. В связи с этим необходимо подобрать минимальный приемлемый с точки зрения критериев оптимизации радиус внешней возбуждающей катушки.

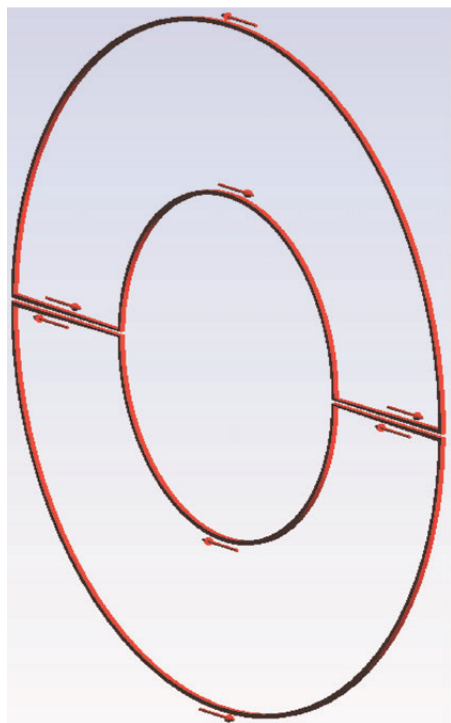


Рис. 7. Возбуждающая система ВТП на основе катушек разного радиуса

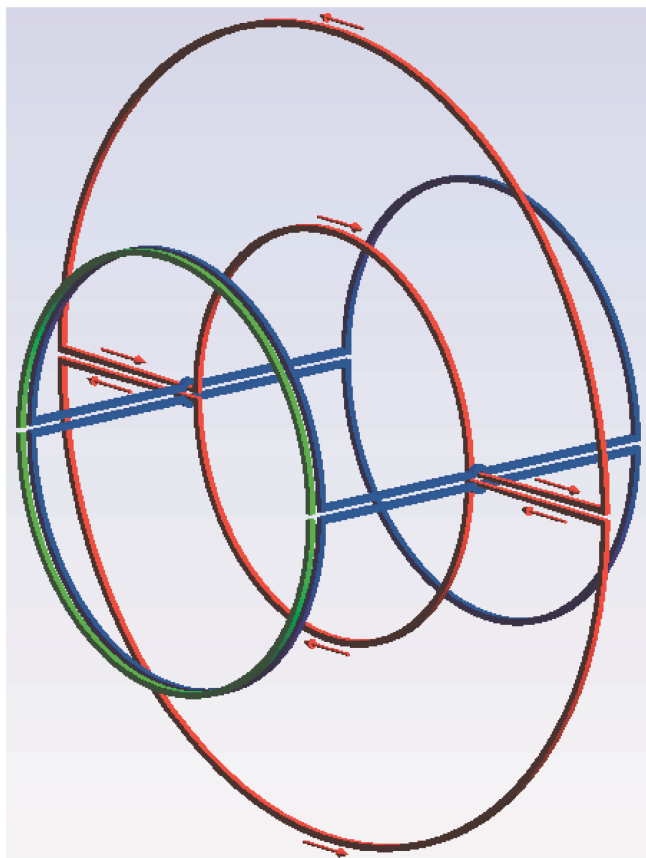


Рис. 8. ВТП с возбуждающими катушками разного радиуса:
красным цветом показана возбуждающая катушка; синим – катушки для обнаружения ЛД; зеленым – катушка для измерения ПС

3. Обобщенные результаты моделирования. Возбуждающие катушки разного радиуса, $\mu_r = 2000$

Показатель	Диаметр внешней катушки, мм		
	400	500	700
Оптимальная база дифференциального ВТП, мм	170	220	310
Относительная вариация сигналов ЛД	0,31	0,19	0,08
Оптимальное положение измерительной катушки абсолютного ВТП, мм	145	155	177
Относительная вариация сигналов ПС	0,080	0,055	0,040

4. Обобщенные результаты моделирования. Возбуждающие катушки разного радиуса, диаметр внешней катушки 500 мм

Показатель	$\mu_r = 100$	$\mu_r = 2000$
	Оптимальная база дифференциального ВТП, мм	215
Относительная вариация сигналов ЛД	0,13	0,19
Оптимальное положение измерительной катушки абсолютного ВТП, мм	120	155
Относительная вариация сигналов ПС	0,040	0,055

Обобщенные результаты численного моделирования рассмотренного ВТП приведены в табл. 3 и 4.

На основании результатов моделирования можно сделать несколько выводов.

ВТП с радиусом внешней возбуждающей катушки, равным 500 мм ($\sim 1,7D_n$), обеспечивает приемлемую с практической точки зрения относительную вариацию сигналов.

Магнитная проницаемость слабо влияет на оптимальное положение измерительных катушек дифференциального ВТП. Зависимость оптимального положения измерительной катушки абсолютного ВТП от магнитной проницаемости несколько выше, однако, зависимость относительной вариации сигналов ПС от положения измерительной катушки имеет пологий вид и при расположении

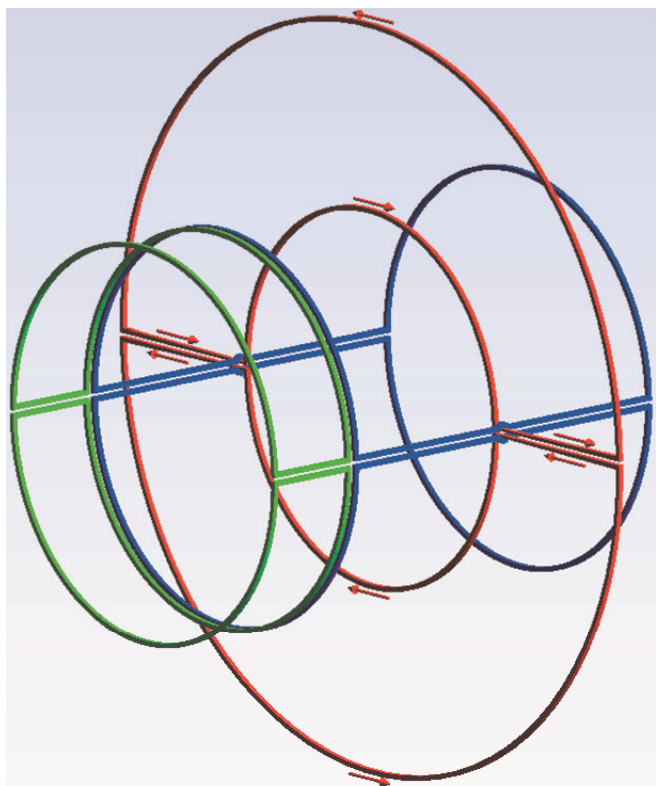


Рис. 9. ВТП с возбуждающими катушками разного радиуса:

красным цветом показана возбуждающая катушка; синим – катушки для обнаружения ЛД; зеленым – катушка для измерения ПС

катушки в координате 140 мм ($\sim 0,47D_n$) может быть обеспечена относительная вариация сигналов ПС на уровне не более 0,1 как для $\mu_r = 100$, так и для $\mu_r = 2000$.

Соотношение сигналов от дефектов во внешнем и центральном слоях зависит от длины седловидных катушек дифференциального ВТП и положения измерительной катушки абсолютного ВТП. Характер зависимости позволяет повысить соотношение сигнал/помеха или создать ВТП, обладающий близкой чувствительностью к дефектам во внешнем и внутренних слоях [4].

Таким образом, рассмотренный ВТП удовлетворяет критериям оптимизации.

На рис. 9 показан полностью разделяемый на части в азимутальном направлении без использования электрических разъемов в витках катушек ВТП на основе возбуждающих катушек разного радиуса.

Расчеты показывают, что если расположить первую измерительную катушку абсолютного ВТП на расстоянии 145 мм ($\sim 0,5D_n$), а вторую измери-

тельную катушку на расстоянии 650 мм ($\sim 2,2D_n$) от центра преобразователя, то может быть обеспечена относительная вариация сигналов ПС на уровне не более 0,12 как для $\mu_r = 100$, так и для $\mu_r = 2000$, т.е. при изменении μ_r в широком диапазоне.

Общие выводы

Рассмотренные в статье разделяемые на части в азимутальном направлении ВТП позволяют повысить технологичность неразрушающего контроля не имеющих свободных концов объектов, таких как замкнутые канатные дороги, ванты мостов, трубопроводы и т.п. За счет использования неоднородного поля рассмотренные ВТП позволяют повысить соотношение сигнал/помеха или создать ВТП, обладающие близкой чувствительностью к дефектам во внешнем и внутренних слоях. Магнитная проницаемость слабо влияет на оптимальные размеры ВТП.

Очевидный недостаток рассмотренных ВТП заключается в повышенных требованиях к механической стабилизации ОК внутри ВТП (минимизации радиальных перемещений) вследствие использования неоднородного поля возбуждения.

Библиографический список

1. **Неразрушающий контроль:** в 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль: практ. пособие / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков; под ред. В. В. Сухорукова. М.: Высш. шк., 1992. 308 с.
2. **Герасимов В. Г., Останин Ю. Я., Покровский А. Д. и др.** Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами. М.: Энергия, 1978. 216 с.
3. **Семенов А. В., Слесарев Д. А.** Неразрушающий контроль стрендовых канатов больших диаметров // Контроль. Диагностика. 2019. № 4. С. 20 – 27.
4. **Семенов А. В.** Повышение соотношения сигнал/помеха при вихретоковом контроле за счет создания неоднородного электромагнитного поля // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25, № 9. С. 4 – 13.
5. **Семенов А. В., Слесарев Д. А.** Математическое моделирование вихретокового неразрушающего контроля стрендовых канатов // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24, № 11. С. 4 – 11. DOI: 10.14489/td.2021.12.pp.004-011.

References

1. Suhorukov V. V. (Ed.), Gerasimov V. G., Pokrovskiy A. D. (1992). *Non-destructive testing: in 5 books.*

Book 3. *Electromagnetic control: a practical guide*. Moscow: Vysshaya shkola. [in Russian language]

2. Gerasimov V. G., Ostanin Yu. Ya., Pokrovskiy A. D. et al. (1978). *Non-destructive quality control of products by electromagnetic methods*. Moscow: Energiya. [in Russian language]

3. Semenov A. V., Slesarev D. A. (2019). Nondestructive testing of large diameter multistrand stay cables. *Kontrol'. Diagnostika*, (4), pp. 20 – 27. [in Russian language] DOI: 10.14489/td.2019.04.pp.020-027

4. Semenov A. V. (2022). Increasing the signal-to-noise ratio in eddy current testing by creating a non-uniform electromagnetic field. *Kontrol'. Diagnostika*, Vol. 25, (9), pp. 4 – 13. [in Russian language]

5. Semenov A. V., Slesarev D. A. (2021). Mathematical modeling of multistrand stay cables eddy current non-destructive testing. *Kontrol'. Diagnostika*, Vol. 24, (12), pp. 4 – 11. [in Russian language] DOI: 10.14489/td.2021.12.pp.004-011.

Для цитирования статьи:

Семенов А. В. Вихретоковые проходные преобразователи для неразрушающего контроля замкнутых протяженных объектов // *Контроль. Диагностика*. 2022. Т. 95, № 10. С. 4 – 11. DOI: 10.14489/td.2022.10.pp.004-011

Semenov A. V. (2022). Encircling eddy current testing probes for non-destructive testing of closed linearly extended objects. *Kontrol'. Diagnostika*, Vol. 95, (10), pp. 4 – 11. [in Russian language]. DOI: 10.14489/td.2022.10.pp.004-011



Спектр

Издательский дом

В.А. Абрамов

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.

Практические рекомендации по применению



Практическое пособие

ISBN 978-5-4442-0057-5. Формат – 60x90 1/16, 124 страницы, год издания – 2014.

Визуальный и измерительный контроль по праву занимает ведущее место среди прочих методов неразрушающего контроля. Наглядность результатов и сравнительная простота реализации – важные составляющие успеха применения визуального и измерительного контроля. В книге представлены и рассмотрены практические рекомендации по применению визуального и измерительного контроля сварных соединений, а именно: термины и определения, нормативная документация по разным отраслям промышленности, включая атомную отрасль, классификация дефектов, средства измерения отечественного и иностранного производства для определения размеров стандартных сварных соединений, а также поверхностных дефектов.

Данное пособие предназначено для подготовки и повышения квалификации сварщиков и специалистов по визуальному и измерительному контролю I, II, III уровней, а также для всех специалистов, работающих в области неразрушающего контроля и технического диагностирования.

660 руб.

www.idspektr.ru

119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1. 000 «Издательский дом «Спектр»
Телефон отдела реализации: (495) 514-26-34. Дополнительный телефон офиса: (926) 615 17 16.
E-mail: zakaz@idspektr.ru. Http://www.idspektr.ru