

# ВИХРЕТОКОВЫЕ НАКЛАДНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ: РАСШИРЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ, СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ (Обзор)

В. Н. УЧАНИН

*Предложена развернутая классификация вихретоковых накладных преобразователей, позволяющая выделить ряд перспективных конструкций накладных преобразователей, которые ранее не были классифицированы или относились к классу специальных.*

*An expanded classification of eddy current overlay transducers is proposed, which allows finding a number of promising designs of overlay transducers, which were not earlier classified or were included into special transducer class*

Вихретоковые преобразователи (ВТП) являются источником первичной информации о параметрах контролируемого материала и их свойства имеют решающее значение для обеспечения высокой эффективности контроля. Согласно существующей классификации в зависимости от рабочего положения ВТП относительно объекта контроля (ОК) их разделяют на накладные, проходные, экранные и комбинированные [1–9]. Накладные ВТП представляют собой одну или несколько обмоток, торцы которых во время контроля подводят к поверхности ОК. Накладные ВТП являются наиболее универсальными и используются для контроля плоских поверхностей и поверхностей с относительно большим радиусом кривизны. Предлагаемая работа посвящена рассмотрению накладных ВТП, существующая классификация которых не позволяет охватить многие современные конструкции. Предложенная в настоящей работе развернутая классификация позволяет выделить ряд перспективных конструкций накладных ВТП, которые ранее были вне классификации или относились к классу специальных.

**Общепринятые классификационные признаки накладных ВТП.** Для полноты рассмотрим вкратце общепринятые классификационные признаки накладных ВТП [1–9]. Все ВТП в зависимости от того, каким образом и в какой параметр преобразуются параметры ОК, разделяют на трансформаторные и параметрические. Трансформаторные ВТП имеют как минимум две обмотки: обмотку возбуждения (ОВ), предназначенную для создания первичного электромагнитного поля, и измерительную обмотку (ИО), в выходное напряжение которой преобразуются параметры ОК. В параметрических ВТП, имеющих в большинстве случаев одну обмотку, параметры ОК преобразу-

ются в ее комплексное сопротивление (импеданс). Параметрические ВТП являются более простыми по конструкции и могут быть выполненными меньших размеров. Однако в параметрических ВТП собственное сопротивление его обмотки добавляется к внесенному сопротивлению, несущему информацию о параметрах ОК, и нестабильность параметров обмотки, в частности, температурная, дает существенный эффект. Поэтому температурную стабильность легче достичь в трансформаторных ВТП [4].

В зависимости от способа преобразования параметров ОК в параметры сигнала различают абсолютные и дифференциальные ВТП. Выходной сигнал абсолютного ВТП зависит от абсолютного значения контролируемого параметра ОК, а дифференциального — от разности этих параметров на двух участках ОК. На рис. 1 изображены простейшие накладные ВТП абсолютного и дифференциального типа, а также распределение сигнала от локального дефекта [7]. При размещении абсолютного ВТП в «воздухе», когда на него не влияет ОК, на выходе ИО имеем сигнал, амплитуда и фаза которого обусловлены первичным электромагнитным полем ОВ. При установке ВТП на бездефектный участок ОК на выходе ИО будет сигнал, обусловленный суммой первичного поля и поля вихревых токов бездефектного ОК. Такое поле будем называть нормальным согласно определению, взятому А. Я. Тетерко из терминологии электроразведки [10].

Накладные ВТП выполняют без сердечника (их часто называют «воздушными») или с ферромагнитным сердечником, который дает возможность повысить их чувствительность и локальность (рис. 1) [11].

Рассмотренные общепринятые классификационные признаки накладных ВТП представлены

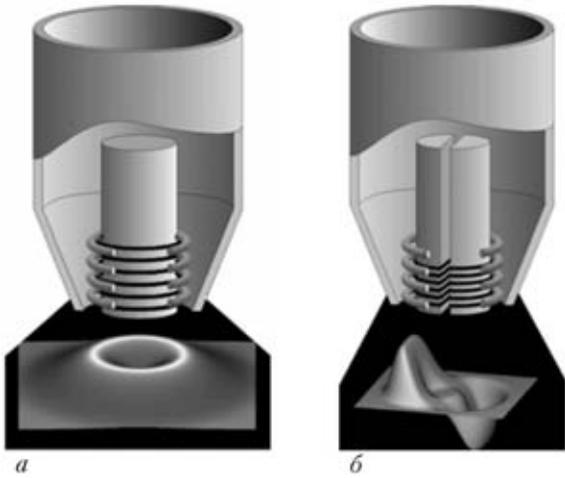


Рис. 1. Простейшие абсолютный (а) и дифференциальный (б) накладные ВТП и распределение сигнала от локального дефекта

на рис. 2 как часть предлагаемой расширенной классификации.

**Предлагаемые классификационные признаки накладных ВТП.** Рассмотрим признаки накладных ВТП, которые могут стать основой их расширенной классификации (рис. 2).

Все трансформаторные накладные ВТП в зависимости от взаимного положения оси (осей) ИО относительно оси ОВ можно разделить на коаксиальные и анаксиальные. Наиболее распростра-

ненными и исследованными являются коаксиальные накладные ВТП с соосными обмотками (рис. 3, а) [1–5], которые наиболее эффективны при определении удельной электрической проводимости (УЭП) и геометрических параметров ОК. В коаксиальных ВТП с помощью дополнительной компенсационной обмотки, включенной встречно основной ИО, добиваются компенсации влияния первичного или нормального поля, что позволяет уменьшить неинформативную составляющую выходного сигнала [12–15]. Коаксиальные ВТП с дополнительной компенсационной обмоткой иногда некорректно называют дифференциальными. Несмотря на дифференциальное включение обмоток такие ВТП по своей природе являются абсолютными, так как их выходной сигнал определяется параметрами только одного участка ОК. Для исключения недоразумений нами предложено называть их абсолютными компенсированными ВТП [15]. Для компенсации первичного поля ВТП размещают в «воздухе» и перемещением компенсационной ИО (рис. 3, а) настраивают таким образом, чтобы минимизировать его выходной сигнал [15]. При симметричном расположении ИО и компенсационной ИО относительно ОВ (и ферритового сердечника при его наличии) можно достичь «нулевого» значения выходного сигнала. В этом случае при установке ВТП на ОК его сигнал будет

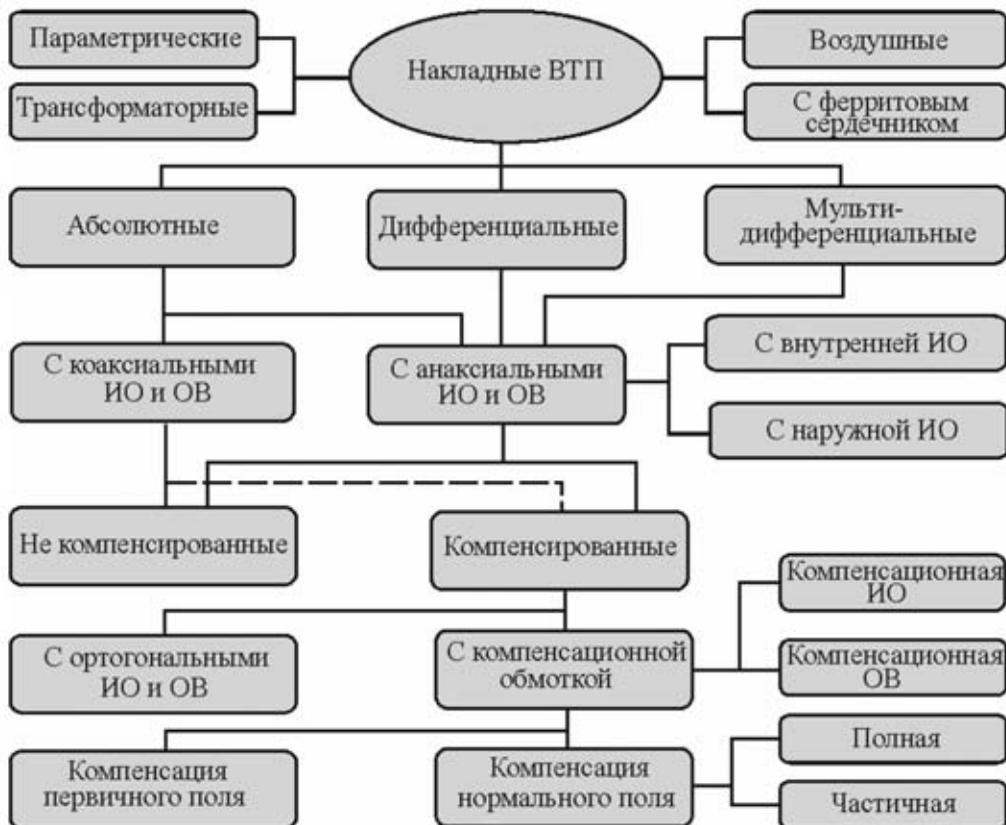


Рис. 2. Классификация накладных ВТП

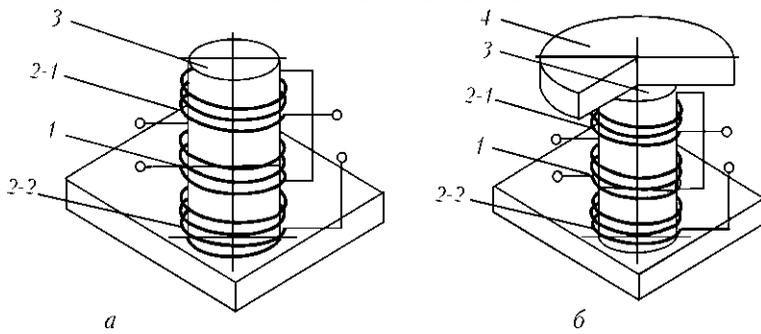


Рис. 3. Абсолютные коаксиальные ВТП с компенсацией первичного (а) или нормального (б) электромагнитного поля: 1 — ОВ; 2 — ИО; 3 — ферритовый сердечник; 4 — компенсатор

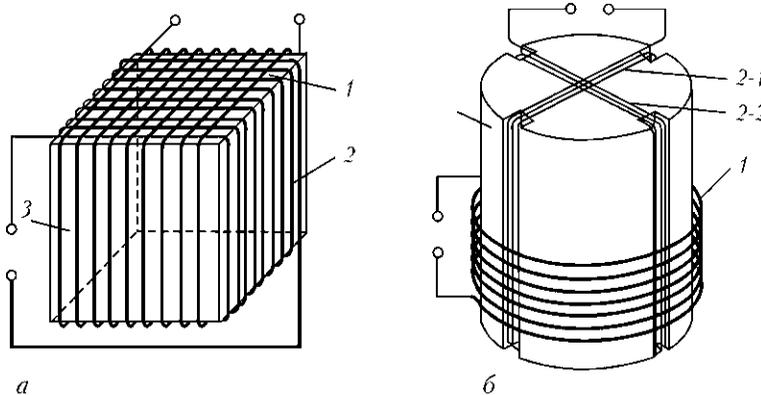


Рис. 4. Варианты ВТП с ортогональными обмотками по [18] (а) и [19] (б): 1 — ОВ; 2 — ИО; 3 — сердечник

зависеть только от электромагнитного поля вихревых токов ОК. При компенсации нормального поля ВТП достижение минимального выходного сигнала ВТП при настройке перемещением компенсационной ИО осуществляют при установке ВТП на бездефектную часть образца, выполненную из материала ОК [15]. Для достижения нулевого выходного сигнала в этом случае необходимо в конструкцию ВТП ввести компенсатор в виде пластины из материала ОК (рис. 3, б). В компенсаторе благодаря взаимодействию с ОВ наводятся вихревые токи, аналогичные вихревым токам ОК. Сигнал в компенсационной ИО аналогичен сигналу в основной ИО, что позволяет исключить влияние электромагнитного поля вихревых токов бездефектного ОК [16]. Глубину ком-

пенсации первичного или нормального поля можно оценить с помощью коэффициента компенсации  $K_K$ :

$$K_K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_B} = \frac{U_B - U_K}{U_B},$$

где  $U_{\text{ВЫХ}}$ ,  $U_B$  и  $U_K$  — соответственно сигналы на выходе ВТП, на выходе основной и компенсационной ИО. Важно, что параметр  $K_K$  является инвариантным относительно напряжения на ОВ и количества витков обмоток ВТП. Компенсацию первичного поля можно также обеспечить с помощью дополнительной ОВ, расположенной коаксиально относительно ИО, поле которой действует встречно к полю основной ОВ [17].

Другим эффективным способом исключения влияния первичного поля является ортогональная ориентация оси ИО относительно оси ОВ [18–21]. Такие ВТП могут состоять из ОВ и ИО, оси которых ориентированы тангенциально относительно поверхности ОК (рис. 4, а) [18], или иметь одну ОВ, ось которой ориентирована нормально относительно поверхности ОК, с двумя перекрестными тангенциальными ИО (рис. 4, б) [19].

В анаксиальных ВТП оси ИО не совпадают с осями ОВ. Термин «анаксиальный» введен впервые Б. И. Блажкевичем с сотрудниками, которые проанализировали такие ВТП применительно к задаче измерения толщины и УЭП [22]. Как преимущество анаксиальных ВТП показано уменьшение влияния первичного поля ОВ на выходной сигнал ИО. Анаксиальные ВТП могут быть абсолютными и дифференциальными. Дифференциальные ВТП всегда имеют анаксиальное размещение ИО относительно ОВ. При этом, согласно предложенной классификации (рис. 2), ИО могут быть расположены как внутри ОВ [23–25], так и

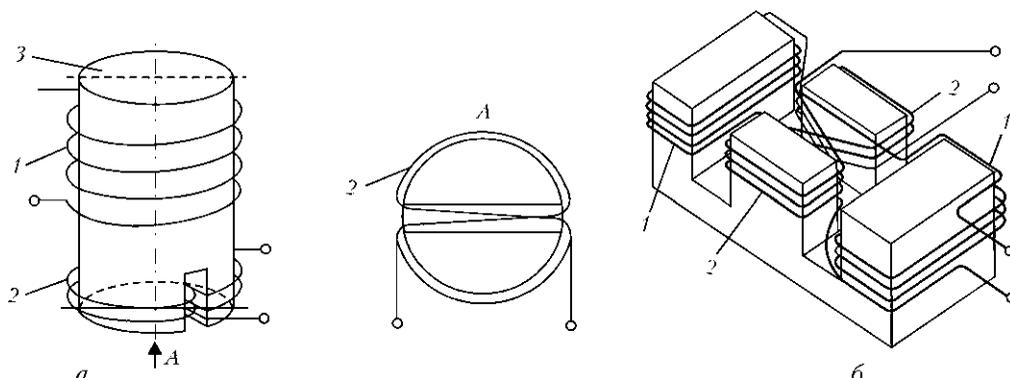


Рис. 5. Варианты дифференциальных ВТП с одной (а) и двумя (б) ОВ [24]: 1 — ОВ; 2 — ИО; 3 — ферритовый сердечник

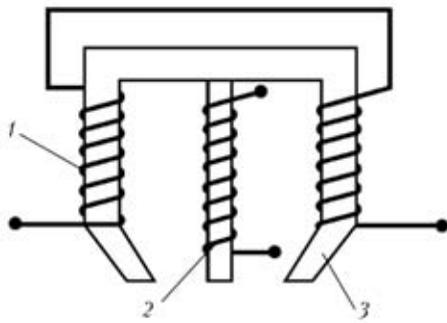


Рис. 6. Анаксиальный дифференциальный ВТП с двумя ОВ [23]: 1 — ОВ; 2 — ИО; 3 — ферритовый сердечник

вынесены за ее пределы [25–29]. На рис. 5 представлены два варианта ВТП Ф. Ферстера: один с внутренними дифференциальными ИО, намотанными общим проводом в форме восьмерки; второй с двумя ОВ, расположенными симметрично относительно дифференциальных ИО, влияние первичного электромагнитного поля которых на каждую ИО суммируется [24].

Компенсацию первичного поля в дифференциальных ВТП можно улучшить с помощью дополнительных компенсационных обмоток, расположенных коаксиально к основным ИО [26]. Необходимо отметить, что дифференциальный способ контроля можно реализовать с помощью одной ИО, на которую действует встречное поле двух идентичных ОВ с параллельными осями, расположенными симметрично по разные стороны ИО [10, 23, 30] (рис. 6).

Кроме абсолютных и дифференциальных ВТП предлагаемая классификация (рис. 2) предполагает перспективную группу мультидифференциальных ВТП, которые в большинстве случаев осуществляют операцию двойного дифференцирования, т. е. их выходной сигнал зависит от разности двух дифференциальных сигналов (рис. 7). Такие ВТП позволяют подавить влияние не только изменений зазора, но и перекоса ВТП относительно поверхности ОК. Мультидифференциальные ВТП могут быть с четырьмя ИО, расположенными внутри (рис. 7) [31–33] или снаружи ОВ, как в

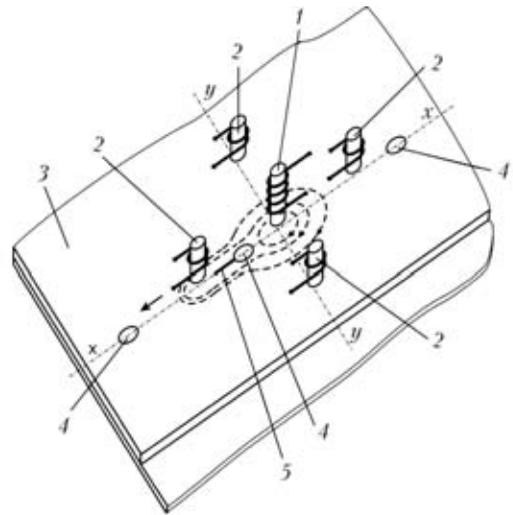


Рис. 8. Мультидифференциальный ВТП с внешними ИО [34]: 1 — ОВ; 2 — ИО; 3 — ОК; 4 — заклепка; 5 — трещина

ВТП (рис. 8) для реализации скользящего способа обнаружения трещин в зоне заклепок [34].

Оригинальная конструкция мультидифференциального ВТП с двумя ОВ, расположенными симметрично относительно двух миниатюрных ИО, предложена А. Я. Тетерко [10, 35]. Обмотки возбуждения 1 этого ВТП (рис. 9, а) размещены на ферритовых сердечниках и включены так, чтобы создаваемые ими магнитные потоки имели противоположное направление. Миниатюрные ИО 2 ориентированы для определения вертикальной составляющей первичного поля и установлены в нейтральной плоскости, где эта составляющая равна нулю. При таком включении в каждой ИО реализован дифференциальный способ контроля, как в дифференциальном ВТП, изображенном на рис. 6. При формировании выходного сигнала ВТП путем встречного включения ИО реализована операция двойного дифференцирования. Этот ВТП исследовали в работе [36] при решении задачи выявления дефектов под обшивкой. Подобный вариант ВТП с удлиненными ИО, которые для увеличения чувствительности к дефектам ти-

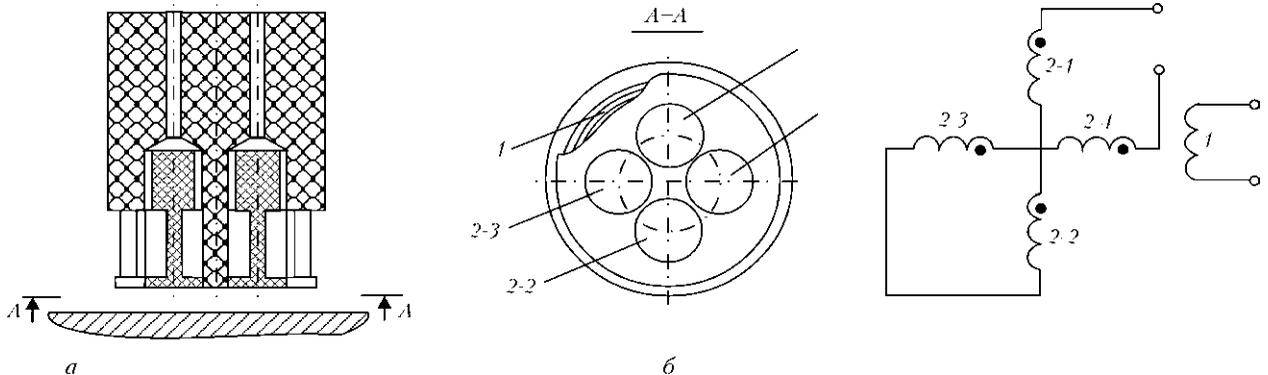


Рис. 7. Мультидифференциальные ВТП с внутренними ИО (а) и схема соединения обмоток [31] (б): 1 — ОВ; 2 — ИО; 3 — ОК

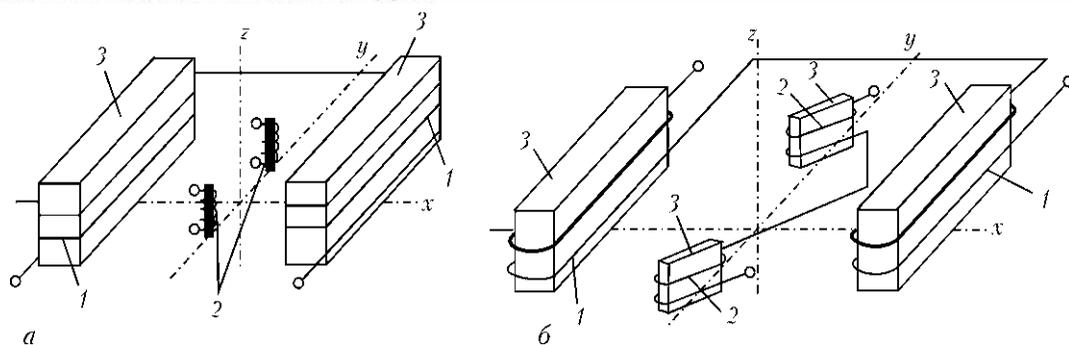


Рис. 9. Мультидифференциальные ВТП с двумя ОБ и двумя ИО по [10] (а) и [37] (б): 1 — ОБ; 2 — ИО; 3 — ферритовые сердечники

па трещина развернута на  $45^\circ$  относительно оси, соединяющей оси ОБ, изображен на рис. 9, б [37]. К недостатку этих ВТП можно отнести сравнительно большие размеры, что ограничивает возможность контроля ОК с малой кривизной поверхности и большим количеством крепежных элементов. Их преимуществом является возможность отстройки не только от плоско-параллельного зазора относительно поверхности ОК как в дифференциальных ВТП, но и от перекоса.

В мультидифференциальном ВТП на рис. 10, а все обмотки I–IV размещены на одинаковых ферритовых сердечниках сегментной формы с пазами для укладки обмоток [38]. Это позволяет улучшить локальность контроля за счет уменьшения размеров ВТП и расстояния между обмотками. Такой ВТП особенно эффективен при контроле неоднородных по структуре материалов, например сварных соединений [39]. На рис. 10, б представлено пространственное распределение сигнала мультидифференциального ВТП от локального дефекта.

Мультидифференциальные ВТП первоначально использовали в составе дефектоскопов типа ДУЭТ и ПОЛЕТ [35, 36, 40, 41], которые эффективно работали только на рабочей частоте 1кГц, что ограничивало их применение. Тем не менее, благодаря большой глубине контроля и пространственному разрешению, с их помощью впервые реализована возможность обнаружения

дефектов под обшивкой толщиной до 5 мм. Мультидифференциальные ВТП были использованы при обнаружении подповерхностных дефектов усталостного и коррозионного происхождения в авиационных неразъемных конструкциях, в частности, дефектов под обшивкой, локальных коррозионных повреждений при контроле с непораженной стороны, трещин под слоем герметика, внутренних дефектов в многослойных конструкциях в зоне заклепок и др. [40–41]. Эффективность мультидифференциальных ВТП с анаксиальными обмотками при выявлении подповерхностных дефектов можно объяснить результатами исследований, которые показывают, что затухание вихревых токов можно уменьшить путем выбора большого диаметра обмоток коаксиального ВТП или путем удаления ИО от ОБ [10, 30, 42]. При большом размере обмоток ВТП нельзя достичь высокой разрешающей способности. В анаксиальных ВТП с разнесенными ОБ и ИО большая глубина контроля достигается установкой относительно большого расстояния между обмотками, а высокая разрешающая способность — их небольшими размерами.

В последнее время разработано множество вариантов выполнения ВТП мультидифференциального типа, которые отличаются диаметром рабочей площадки и диапазоном рабочих частот [43–45]. Для каждого типоразмера предложено три варианта ВТП для работы в нижнем

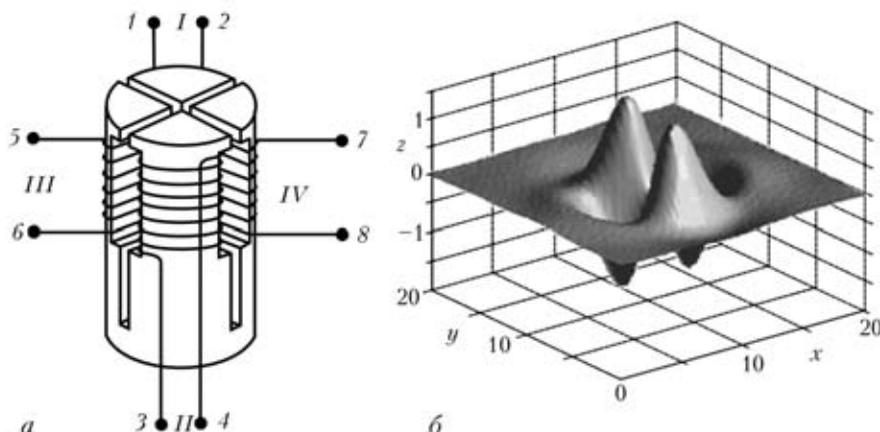


Рис. 10. Мультидифференциальный ВТП с малой базой размещения обмоток (а) и распределение сигнала мультидифференциального ВТП от локального дефекта (б)



(50Гц...10,0 кГц), среднем (10,0...500,0 кГц) и высоком (500,0 кГц...6,0 МГц) диапазонах рабочих частот. Исследования показали, что особенностями этих ВТП, благодаря которым удалось решить ряд новых задач, являются: высокая чувствительность трещинам и локальным дефектам типа поры; хорошее подавление первичного электромагнитного поля и ослабление влияния зазора; высокая разрешающая способность; высокая глубина контроля; высокая чувствительность при контроле через диэлектрический слой и небольшие размеры [43–47]. На их основе ведущими фирмами, такими как Фраунгофер институт неразрушающего контроля (Саарбрюкен, Германия), «КонтрольТехник» (Швармштедт, Германия), НПФ «Промприлад» и ОКБТ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, разработано ряд эффективных систем автоматизированного контроля [48–51].

## Выводы

1. Проведен сравнительный анализ современных накладных ВТП. Выделены новые классификационные признаки накладных ВТП, на основе которых предложена их расширенная классификация.

2. Правомочность предложенной классификации накладных ВТП подтверждена примерами из научно-технической и патентной литературы.

3. Среди перспективных конструкций выделены анаксиальные ВТП с внешними ИО, а также мультидифференциальные ВТП, которые осуществляют операцию двойного дифференцирования. Представлены их особенности и примеры эффективного применения для решения сложных задач неразрушающего контроля.

1. *Неразрушающий контроль металлов и изделий*: Справочник / П. И. Беда, Б. И. Выборнов, Ю. А. Глазков и др. / Под ред. Г. С. Самойловича. — М.: Машиностроение, 1976. — 456 с.
2. *Дорофеев А. Л., Казаманов Ю. Г.* Электромагнитная дефектоскопия. — М.: Машиностроение, 1980. — 232 с.
3. *Дякин В. В., Сандовский В. А.* Теория и расчет накладных вихретоковых преобразователей. — М.: Наука, 1981. — 136 с.
4. *Герасимов В. Г., Клюев В. В., Шатерников В. Е.* Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 272 с.
5. *Соболев В. С., Шкарлет Ю. М.* Накладные и экранные датчики. — Новосибирск: Наука, 1967. — 144 с.
6. *Неразрушающий контроль и диагностика*: Справочник / Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1995. — 487 с.
7. *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. — 312 с.
8. *Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник* / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 9: Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій / О. П. Остап, В. М. Федірко, В. М. Учанін та ін. — Львів: Сполом, 2007. — 1068 с.
9. *Зацепин Н. Н., Гусак Н. О.* Применение некоторых электромагнитных накладных преобразователей для контро-

ля изделий без разрушения // *Неразруш. методы и средства контроля и их применение в промышленности.* — Минск: Наука и техника, 1973. — С. 153–177.

10. *Тетерко А. Я.* Исследование электромагнитного поля подповерхностных дефектов и разработка средств электромагнитной дефектоскопии: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: НИИ Интроскопии, 1977. — 23 с.
11. *Учанин В. Н.* Анализ эффективности вихретоковых преобразователей с ферритовыми сердечниками // *Материалы 15-й Межд. конф.* — «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». — Ялта–Киев: УИЦ — «НАУКА. ТЕХНОЛОГИЯ», 2007. — С. 126–128.
12. *А. с. 359504 СССР. МКИ G 01b27/86.* Устройство для контроля толщины гальванических покрытий / В. Г. Пахомов, Б. Д. Попович, А. Л. Рубин, А. В. Шарко. — № 1434916/25-28; Заявл. 05.05.70; Опубл. 03.12.72, Бюл. № 35. — 2 с.
13. *А. с. 911310 СССР. МКИ G 01 N 27/90.* Способ настройки электромагнитных преобразователей / А. Я. Тетерко, Я. К. Бебкович, П. П. Диегуц, В. Н. Учанин и др. — 2972522/25-28; Заявл. 04.08.80; Опубл. 07.03.82, Бюл. № 9. — 3 с.
14. *Пат. 4716366 США, МКИ G01B7/14.* Eddy current distance signal apparatus with temperature change compensation means / T. Hosoe, S. Ando, Y. Kawase; 749941; Заявл. 27.06.85; Опубл. 29.12.87; НКИ 324/207. — 8 с.
15. *Учанін В. М., Гозуля В. М., Луценко Г. Г.* Дослідження вихрострумових методів оцінки глибини довгих тріщин в феромагнітних матеріалах // *Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів.* — Вип. 8: Неруйнівний контроль та діагностика неоднорідних об'єктів. — Львів: ФМІ НАНУ, 2003. — С. 76–83.
16. *А. с. 508735 СССР. МКИ2 G 01 n 27/86.* Электромагнитный преобразователь для неразрушающего контроля ферромагнитных материалов / Н. Н. Зацепин, Н. О. Гусак, А. В. Чернышев. — № 2016136/25-28; Заявл. 17.04.74; Опубл. 30.03.76, Бюл. № 12. — 3 с.
17. *А. с. 649997 СССР. МКИ2 G 01 N 27/86.* Вихретоковое устройство для неразрушающего контроля изделий / В. В. Клюев, В. П. Курозаев, Ю. М. Шкарлет. — № 2310958/25-28; Заявл. 06.01.76; Опубл. 28.02.79, Бюл. № 8. — 2 с.
18. *А. с. 418787 СССР. МКИ2 G 01 n 27/86.* Токовихревой датчик для неразрушающего контроля / А. А. Астафьев. — № 1793592/25-28; Заявл. 30.05.72; Опубл. 05.03.74, Бюл. № 9. — 2 с.
19. *Пат. 3495166 США, МКИ G 01 r 3312.* Eddy current crack detector systems using crossed coils / D. Lorenzi, H. Migel, D. O'Connor; 629541; Заявл. 10.04.67; Опубл. 10.02.70; НКИ 324-37. — 11 с.
20. *Hoshikawa Y., Koyama K.* A new eddy current probe with minimal liftoff noise and phase information on discontinuity depth // *Materials Evaluation.* — 2003. — № 3. — С. 423–427.
21. *А. с. 616574 СССР. МКИ G 01 n 27/86.* Накладной вихретоковый преобразователь к дефектоскопу / В. И. Рогачев, В. Л. Сорокин, Л. И. Трахтенберг, П. Н. Шкатов. — № 2453346/25-28; Заявл. 17.02.77; Опубл. 25.07.78, Бюл. № 27. — 2 с.
22. *Контроль структуры и толщины металлических изделий с использованием анаксиальных преобразователей* / Б. И. Блажкевич, Г. Н. Макаров, Л. Л. Либакский, Ю. М. Шумков // *Физ.-хим. механика материалов.* — 1974. — № 3. — С. 89–94.
23. *Vigness I., Dinger I., Gunn H.* Eddy current type flaw detectors for nonmagnetic metals // *J. Appl. Phys.* — 1942. — № 13. — P. 377–383.
24. *Пат. 3611120 США, МКИ G 01r33/12.* Eddy current testing systems with means to compensate for probe to work piece spacing / F. Forster; 14752; Заявл. 26.02.70; Опубл. 05.10.71; НКИ 324/37. — 13 с.
25. *Уменьшение чувствительности к влиянию зазора при контроле импульсным вихретоковым методом и использованием двухступенчатых дифференциальных датчиков* / Л. Шу, Х. Сон-лин, Ж. Вей, Ю. Пенг // *Дефектоскопия.* — 2008. — № 2. — С. 84–93.



26. А. с. 622000 СССР. МКИ G 01N27/86. Накладной вихре-токовый преобразователь к дефектоскопу / Э. В. Чуприяк, В. И. Бекузаров. — № 2469315/25-28; Заявл. 04.04.77; Оpubл. 30.08.78, Бюл. № 32. — 3 с.
27. А. с. 789730 СССР. МКИ G 01N27/90. Способ многочастотного вихре-токового контроля и устройство для его осуществления / Ю. З. Билик, И. А. Ройтбург, М. З. Слущкая. — № 2611760/25-28; Заявл. 04.05.78; Оpubл. 23.12.80, Бюл. № 47. — 4 с.
28. А. с. 763773 СССР. МКИ G 01N27/90. Вихре-токовый преобразователь / В. А. Денисов, В. А. Шарков, В. Д. Фалик, Е. Е. Шатерников. — № 2606600/25-28; Заявл. 28.03.78; Оpubл. 15.09.80, Бюл. № 34. — 4 с.
29. А. с. 436276 СССР. МКИ G 01N27/86. Токовихревой модуляционный датчик / А. Я. Тетерко, В. Н. Учанин, П. П. Диегун. — № 18465101; Заявл. 14.11.72; Оpubл. 15.07.74, Бюл. № 26. — 2 с.
30. Учанин В. Н. Исследование и разработка вихре-токового метода и средств обнаружения и оценки дефектов в материалах деталей летательных аппаратов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.11. — М.: ЦНИИТМАШ, 1982. — 21 с.
31. А. с. 390431 СССР. МКИ G 01N27/86. Накладной датчик к токовихревому дефектоскопу / А. В. Демин, В. Г. Мазаев, В. К. Попов. — № 1633718/25-28; Заявл. 15.03.71; Оpubл. 11.07.73, Бюл. № 30. — 2 с.
32. А. с. 577450 СССР. МКИ G 01N27/86. Накладной датчик к токовихревому дефектоскопу / А. В. Демин, Д. К. Комогорцев, В. Г. Мазаев, В. К. Попов. — № 2382824/25-28; Заявл. 12.07.76; Оpubл. 25.10.77, Бюл. № 39. — 2 с.
33. А. с. 616574 СССР. МКИ G 01N27/86. Накладной вихре-токовый преобразователь к дефектоскопу / В. И. Рогачев, В. Л. Сорокин, Л. И. Трахтенберг, П. И. Шкатов. — № 2453346/25-28; Заявл. 17.02.77; Оpubл. 25.07.78, Бюл. № 27. — 2 с.
34. Пат. № 2541772 (Франция). G 01 N 27/90. Procédé et dispositif pour l'examen non destructif de junctions rivetées ou analogues au moyen d'une sonde à courants de Foucault / J.-L. Arnaud, M. Floret. — № 8303043; Заявл. 24.02.1984. Оpubл. 31.08.84. — 22 с.
35. Особенности конструирования дефектоскопов с датчиками градиентометрического типа / А. Я. Тетерко, К. А. Калганов, В. Н. Учанин и др. // Промышленное применение электромагнитных методов контроля. — М.: Изд-во МДНТП, 1974. — С. 79–85.
36. Тетерко А. Я., Учанин В. Н., Дорофеев А. Л. Контроль дефектов под обшивкой // Новые физические методы неразрушающего контроля качества продукции. — М.: МДНТП, 1977. — С. 30–35.
37. А. с. 868555 СССР, МКИ G 01 N 27/90. Вихре-токовый преобразователь / А. Я. Тетерко, В. Н. Учанин, Ю. М. Кричевец, Ю. С. Грабский. — № 2874984/25-28; Заявл. 28.01.80; Оpubл. 30.09.81, Бюл. № 36. — 2 с.
38. А. с. 1767409 СССР, МКИ G 01 N 27/90. Вихре-токовый преобразователь / В. Н. Учанин, Ю. С. Грабский. — № 4869272/28; Заявл. 19.07.90; Оpubл. 07.10.92, Бюл. № 37. — 3 с.
39. Учанин В. Н. Вихре-токовый контроль сварных соединений // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 4. — С. 71–80.
40. Panasjuk V. V., Teterko A. J., Uchanin V. N. Eddy current detection of fatigue and corrosion defects and their parameters estimation // Tenth world conference on NDT. — 1982. Vol. 4. — P. 40–47.
41. Выявление дефектов в неразъемных конструкциях / В. Н. Учанин, А. Л. Дорофеев, Ю. Г. Казамапов и др. // Авиационные материалы. — Вып. 6: Дефектоскопия металлов. — М.: ВИАМ, 1979. — С. 59–64.
42. Mottl Z. The Quantitative Relations Between True and Standard Depth of Penetration for Air Cored Probe Coils in Eddy Current Testing / NDT International. — 1990. — 23, № 1. — P. 11–18.
43. Учанин В. Н. Вихре-токовые мультидифференциальные преобразователи и их применение // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2006. — № 3. — С. 34–41.
44. Учанин В. Н. Вихре-токовые методы выявления дефектов в зоне заклепок многослойных авиационных конструкций // Там же. — 2006. — № 2. — С. 3–12.
45. Mook G., Hesse J., Uchanin V. Deep Penetrating Eddy Currents and Probes // Materials Testing. — 2007. — 49, № 5. — P. 258–264.
46. Uchanin V., Mook G., Stepinski T. The investigation of deep penetrating high resolution EC probes for subsurface flaw detection and sizing // Proc. 8-th Europ. conf. for NDT, Barcelona. — 2002. — 312 p.
47. Учанин В. Н., Семочкин С. В. Разработка и исследование вихре-токовых преобразователей для контроля узлов самолетов фирмы «Боинг» в условиях эксплуатации // Праці 6-ї Нац. наук.-техн. конф. «Неруйнівний контроль і техн. діагностика». — Киев: ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2009. — С. 347–350.
48. Учанин В. Н. Развитие вихре-токовых методов контроля: задачи, решения, перспективы // Мат. 5-ї Нац. наук.-техн. конф. і виставки «Неруйнівний контроль та техн. діагностика» (НКТД-2006). — Київ, 2006. — С. 46–54.
49. Uchanin V., Lutcenko G., Nikonenko A. Automated Eddy Current System for Flaw Detection and Sizing during In-service Stainless Steel Tube Inspection // 9-th Europ. conf. on NDT. — Berlin, 2006. — (www.ndt.net).
50. Разработка вихре-токового тракта системы комплексного автоматизированного контроля железнодорожных осей / Г. Г. Луценко, В. Н. Учанин, А. В. Джаганян и др. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. — Вип. 13: Теорія і практика неруйнівного контролю матеріалів та конструкцій. — Львів: ФМІ НАН України, 2008. — С. 27–36.
51. Разработка системы автоматизированного вихре-токового контроля переключателей коллекторов атомных станций / В. Л. Найда, В. Н. Учанин, А. А. Мозжухин и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008. — № 3. — С. 21–24.