

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **18254**

(13) **С1**

(46) **2014.06.30**

(51) МПК

G 01N 27/72 (2006.01)

(54) **СПОСОБ МАГНИТОИМПУЛЬСНОГО КОНТРОЛЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ, В ЧАСТНОСТИ
УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И МАГНИТНОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТИ, ДЕФЕКТНОСТИ, А ТАКЖЕ ТОЛЩИНЫ
ОБЪЕКТА ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО МАГНИТНОГО
МАТЕРИАЛА**

(21) Номер заявки: а 20111733

(22) 2011.12.15

(43) 2013.08.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Павлюченко Владимир Васильевич; Дорошевич Елена Сергеевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ВУ 10464 С1, 2008.

ВУ 13905 С1, 2010.

ВУ 8826 С1, 2006.

RU 2176317 С1, 2001.

RU 2118816 С1, 1998.

SU 1573410 А1, 1990.

US 4290019 А, 1981.

(57)

Способ магнитоимпульсного контроля электрических и магнитных свойств, в частности удельной электропроводности σ и магнитной проницаемости μ , дефектности, а также толщины объекта из электропроводящего магнитного материала, в котором на поверхность эталонного объекта с известными свойствами накладывают дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными участками, размещают эталонный объект параллельно линейному индуктору, задают распределение $U_1(x)$ величины электрического напряжения на выходе считывающего устройства, которое требуется получить при сканировании этим устройством магнитного носителя вдоль координаты x по заданной линии замера после воздействия на эталонный объект магнитным полем, с учетом получения заданного максимального значения этого напряжения в точке линии замера под осью индуктора, рассчитывают расстояние h между эталонным объектом и осью индуктора, максимальную величину $I_{\max 1}$ импульса тока через индуктор и время $t_{\max 1}$ его нарастания, необходимые для получения распределения $U_1(x)$, воздействуют на эталонный объект импульсом магнитного поля прямой полярности, соответствующим указанным выше рассчитанным условиям воздействия, сканируют магнитный носитель вдоль линии замера, получают распределение $U_{11}(x)$, отличное от распределения $U_1(x)$, корректируют величины h , $I_{\max 1}$ и $t_{\max 1}$ для компенсации этого отличия, воздействуют на эталонный объект скорректированным импульсом магнитного поля, соответствующим скорректированным условиям воздействия, и получают распределение $U_{12}(x)$, максимально близкое к распределению $U_1(x)$, далее задают распределение $U_2(x)$ с заданным максимальным значением электрического напряжения в точке линии замера под осью индуктора, которое требуется получить после последовательного воздействия на эталонный объект первым скорректированным импульсом магнитного поля и вторым импульсом

ВУ 18254 С1 2014.06.30

магнитного поля обратной полярности с амплитудой меньше, чем у первого импульса, рассчитывают величину $I_{\max 2}$ второго импульса тока через индуктор и время $t_{\max 2}$ его нарастания, необходимые для получения распределения $U_2(x)$, воздействуют на эталонный объект двумя указанными импульсами магнитного поля в соответствии с рассчитанными условиями воздействия, сканируют магнитный носитель вдоль линии замера, получают распределение $U_{21}(x)$, отличное от распределения $U_2(x)$, корректируют величины h , $I_{\max 1}$, $I_{\max 2}$, $t_{\max 1}$ и $t_{\max 2}$ для компенсации этого отличия, воздействуют на эталонный объект двумя импульсами магнитного поля, соответствующими скорректированным условиям воздействия, и получают распределение $U_{22}(x)$, максимально близкое к распределению $U_2(x)$, затем задают распределение $U_3(x)$ с нулевым значением электрического напряжения в точке линии замера под осью индуктора, которое требуется получить после последовательного воздействия на эталонный объект двумя указанными скорректированными импульсами магнитного поля и третьим импульсом магнитного поля прямой полярности с амплитудой меньше, чем у второго импульса, рассчитывают величину $I_{\max 3}$ третьего импульса тока через индуктор и время $t_{\max 3}$ его нарастания, необходимые для получения распределения $U_3(x)$ с учетом проникновения воздействующего магнитного поля в эталонный объект на заданную эффективную глубину, воздействуют на эталонный объект тремя указанными импульсами магнитного поля в соответствии с рассчитанными условиями воздействия, сканируют магнитный носитель вдоль линии замера, получают распределение $U_{31}(x)$, отличное от распределения $U_3(x)$, корректируют величины h , $I_{\max 1}$, $I_{\max 2}$, $I_{\max 3}$, $t_{\max 1}$, $t_{\max 2}$ и $t_{\max 3}$ для компенсации этого отличия, воздействуют на эталонный объект тремя итоговыми скорректированными импульсами магнитного поля, соответствующими окончательным скорректированным условиям воздействия, и получают распределение $U_{33}(x)$, максимально близкое к распределению $U_3(x)$, а затем накладывают такой же магнитный носитель на поверхность контролируемого объекта, последовательно воздействуют на контролируемый объект при тех же условиях воздействия тремя указанными итоговыми импульсами магнитного поля, сканируют магнитный носитель считывающим устройством вдоль линии замера, находят распределение указанного электрического напряжения с несколькими его максимумами вдоль координаты x , создают визуальную растровую картину этого распределения, а затем определяют искомые свойства контролируемого объекта путем сравнения заданных максимумов указанного распределения или всего распределения в целом в растровой либо цифровой форме с соответствующими распределениями, полученными при тех же условиях для аналогичных эталонных объектов с известными свойствами.

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике и может быть использовано для контроля качества изделий из электропроводящих и магнитных материалов.

Известен магнитоимпульсный способ контроля материалов [1], заключающийся в том, что на контролируемый объект воздействуют периодически повторяющимися импульсными магнитными полями и по параметрам взаимодействия этих полей со структурой материала определяют физико-механические свойства материала.

Однако этот способ не обладает достаточной точностью.

Известен магнитоимпульсный способ контроля материалов [2], заключающийся в том, что на контролируемый объект воздействуют сериями импульсов магнитного поля и по параметрам взаимодействия этих импульсов со структурой материала определяют физико-механические свойства материала.

Однако этот способ не обладает достаточной точностью.

Прототипом предлагаемого изобретения является способ магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или не-

магнитного электропроводящего материала [3], заключающийся в том, что на поверхность объекта воздействуют импульсами магнитного поля с разным временем нарастания, находят распределение максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля $H_{i\text{тм}}$ по линии замера для каждого импульса, формируют оптическое изображение распределения в виде раstra, измеряют $H_{i\text{тм}}$, по значению которой определяют величину удельной электропроводности σ материала объекта и величину его магнитной проницаемости μ по предварительно найденным зависимостям величины напряженности магнитного поля от удельной электропроводности, магнитной проницаемости и времени нарастания импульса поля, а наличие дефектов - по виду раstra.

Однако этот способ обладает недостаточной точностью.

Задачей изобретения является повышение точности контроля распределения удельной электропроводности σ , магнитной проницаемости μ , параметров дефектов и структурных неоднородностей объектов из электропроводящих и магнитных материалов.

Поставленная задача достигается тем, что в способе магнитоимпульсного контроля электрических и магнитных свойств, в частности удельной электропроводности σ и магнитной проницаемости μ , дефектности, а также толщины объекта из электропроводящего магнитного материала, заключающемся в том, что на поверхность эталонного объекта с известными свойствами накладывают дискретный магнитный носитель с чередующимися магнитными и немагнитными участками, размещают эталонный объект параллельно линейному индуктору, задают распределение $U_1(x)$ величины электрического напряжения на выходе считывающего устройства, которое требуется получить при сканировании этим устройством магнитного носителя вдоль координаты x по заданной линии замера после воздействия на эталонный объект магнитным полем, с учетом получения заданного максимального значения этого напряжения в точке линии замера под осью индуктора, рассчитывают расстояние h между эталонным объектом и осью индуктора, максимальную величину I_{max1} импульса тока через индуктор и время t_{max1} его нарастания, необходимые для получения распределения $U_1(x)$, воздействуют на эталонный объект импульсом магнитного поля прямой полярности, соответствующим указанным выше рассчитанным условиям воздействия, сканируют магнитный носитель вдоль линии замера, получают распределение $U_{11}(x)$, отличное от распределения $U_1(x)$, корректируют величины h , I_{max1} и t_{max1} для компенсации этого отличия, воздействуют на эталонный объект скорректированным импульсом магнитного поля, соответствующим скорректированным условиям воздействия, и получают распределение $U_{12}(x)$, максимально близкое к распределению $U_1(x)$, далее задают распределение $U_2(x)$ с заданным максимальным значением электрического напряжения в точке линии замера под осью индуктора, которое требуется получить после последовательного воздействия на эталонный объект первым скорректированным импульсом магнитного поля и вторым импульсом магнитного поля обратной полярности с амплитудой меньше, чем у первого импульса, рассчитывают величину I_{max2} второго импульса тока через индуктор и время t_{max2} его нарастания, необходимые для получения распределения $U_2(x)$, воздействуют на эталонный объект двумя указанными импульсами магнитного поля в соответствии с рассчитанными условиями воздействия, сканируют магнитный носитель вдоль линии замера, получают распределение $U_{21}(x)$, отличное от распределения $U_2(x)$, корректируют величины h , I_{max1} , I_{max2} , t_{max1} и t_{max2} для компенсации этого отличия, воздействуют на эталонный объект двумя импульсами магнитного поля, соответствующими скорректированным условиям воздействия, и получают распределение $U_{22}(x)$, максимально близкое к распределению $U_2(x)$, затем задают распределение $U_3(x)$ с нулевым значением электрического напряжения в точке линии замера под осью индуктора, которое требуется получить после последовательного воздействия на эталонный объект двумя указанными скорректированными импульсами магнитного поля и третьим импульсом магнитного поля прямой полярности с амплитудой меньше, чем у второго импульса, рассчитывают величину I_{max3} третьего импульса тока через индуктор и время t_{max3}

его нарастания, необходимые для получения распределения $U_3(x)$ с учетом проникновения воздействующего магнитного поля в эталонный объект на заданную эффективную глубину, воздействуют на эталонный объект тремя указанными импульсами магнитного поля в соответствии с рассчитанными условиями воздействия, сканируют магнитный носитель вдоль линии замера, получают распределение $U_{31}(x)$, отличное от распределения $U_3(x)$, корректируют величины h , $I_{\max 1}$, $I_{\max 2}$, $I_{\max 3}$, $t_{\max 1}$, $t_{\max 2}$ и $t_{\max 3}$ для компенсации этого отличия, воздействуют на эталонный объект тремя итоговыми скорректированными импульсами магнитного поля, соответствующими окончательным скорректированным условиям воздействия, и получают распределение $U_{33}(x)$, максимально близкое к распределению $U_3(x)$, а затем накладывают такой же магнитный носитель на поверхность контролируемого объекта, последовательно воздействуют на контролируемый объект при тех же условиях воздействия тремя указанными итоговыми импульсами магнитного поля, сканируют магнитный носитель считывающим устройством вдоль линии замера, находят распределение указанного электрического напряжения с несколькими его максимумами вдоль координаты x , создают визуальную растровую картину этого распределения, а затем определяют искомые свойства контролируемого объекта путем сравнения заданных максимумов указанного распределения или всего распределения в целом в растровой либо цифровой форме с соответствующими распределениями, полученными при тех же условиях для аналогичных эталонных объектов с известными свойствами.

Сущность изобретения состоит в следующем.

При воздействии на магнитный носитель (МН) с контролируемым объектом импульсным магнитным полем с выбросами обратного и прямого направления с убывающей амплитудой напряженности или несколькими последовательными импульсами разной полярности с убывающей амплитудой на МН остаются распределения остаточных магнитных полей, которые соответствуют электрическим и магнитным свойствам объекта, его толщине и распределениям дефектов сплошности в нем. Использование дискретного МН с чередующимися магнитными и немагнитными участками позволяет значительно увеличить информацию о контролируемом объекте и повысить точность контроля его свойств. При этом на выходе считывающего устройства, сканирующего МН по линии замера, возникают распределения $U(x)$ величины электрического напряжения U от координаты x МН по линии замера, которым соответствуют различные геометрические фигуры. По этим фигурам можно определять свойства объекта.

Как показали исследования, наибольшей точности контроля можно достигнуть при воздействии на МН с контролируемым объектом несколькими импульсами магнитного поля, последний из которых осуществляют из такого состояния МН под осью индуктора, в котором величина напряжения U считывающего устройства для участка МН под осью индуктора в результате воздействия на эталонный объект последним импульсом должна быть равной нулю или близка к ней.

Сущность изобретения поясняется графиками, изображенными на фиг. 1-7, на которых показаны зависимости $U(t)$ величины электрического напряжения U , снимаемого со считывающего устройства (индукционной магнитной головки), сканирующего дискретный МН, от времени t (горизонтальная ось), соответствующего расстоянию до выбранной точки отсчета. Графики на фиг. 1-5 получены для эталонного объекта, а графики на фиг. 6-7 - для контролируемого объекта.

Время t на фиг. 1-7 пропорционально расстоянию x участка МН по линии замера, так что времени $t = 1 \cdot 10^{-3}$ с соответствует расстояние $1,32 \cdot 10^{-2}$ м участка МН или участка поверхности объекта. Поэтому распределения $U(t)$, изображенные на указанных фигурах, далее в тексте представлены как распределения $U(x)$.

Изображения на фиг. 1-7 получены на экране монитора с использованием цифрового осциллографа, подключенного к компьютеру, при воздействии на МН импульсом магнитного поля в полволны с последующими выбросами магнитного поля обратного и прямого

направления. В качестве излучателя импульсного магнитного поля использован линейный индуктор (прямолинейный проводник), лежащий в плоскости, параллельной поверхности объекта.

Координаты проекций осей индуктора на поверхность объекта на фиг. 1-7 соответствуют серединам изображений $U(x)$: фиг. 1, 4, 5, 6 - центральный максимум, фиг. 2, 3, 7 - центральный минимум.

Изобретение осуществляют следующим образом.

Воздействие на МН с объектом осуществляют импульсами магнитного поля линейного индуктора с выбросами магнитного поля обратного и прямого направления напряженности магнитного поля с убывающей амплитудой или несколькими последовательными импульсами разной полярности с убывающей амплитудой, запись магнитных полей производят на дискретный МН с чередующимися магнитными и немагнитными участками или на другой МН, а определение электрических и магнитных свойств объекта и дефектов в нем осуществляют по величине электрического напряжения U на выходе считывающего устройства, сканирующего МН, пропорциональной величине напряженности остаточного магнитного поля МН и ее распределению вдоль линии замера МН, а также по параметрам получающихся изображений геометрических фигур распределения $U(x)$ величины напряжения U этого устройства от координаты x МН по линии замера, которым ставят в соответствие оптические изображения, при этом параметры воздействующего импульса тока индуктора, состоящего из нескольких угасающих импульсов разной полярности, определяют исходя из того, что свойства объекта сначала определяют по изменению величины первого максимума U , соответствующего положению проекции оси индуктора на МН, а затем по остальным параметрам распределения $U(x)$.

При осуществлении данного способа рассчитывают параметры нескольких последовательных импульсов магнитного поля с чередующейся полярностью и убывающей амплитудой или параметры одного импульса с угасающими импульсами поля. При этом действуют таким образом, чтобы после воздействия последним импульсом индуктора величина считываемого напряжения U для участка МН под осью индуктора была равной нулю или близка к нулю. Точность контроля возрастает за счет использования гистерезисных свойств МН. Эти свойства проявляются уже при воздействии на МН двумя импульсами противоположной полярности. Однако воздействие большим числом импульсов, например тремя, четырьмя, пятью и больше, позволяет получать несколько дополнительных максимумов и минимумов U (четыре, пять и больше максимумов), несущих дополнительную информацию о свойствах объекта. К этой информации относится величина максимумов U , расстояния между максимумами и другие параметры распределений $U(x)$.

В данном техническом решении предлагается находить свойства объекта прежде всего по величине первого максимума U и далее использовать информацию остальных участков распределения $U(x)$. В распределениях $U(x)$, показанных на фиг. 1-7, максимумы U соответствуют максимумам огибающих зависимостей $U(x)$.

Изобретение осуществляют следующим образом.

Задают максимальную величину напряжения $U_{\max 1}$ считывающего с МН устройства и функцию распределения $U_1(x)$ этого устройства от координаты x МН, по которым находят расстояние h от оси индуктора до МН, максимальную величину импульса тока $I_{\max 1}$, пропускаемого через индуктор, а также время нарастания импульса тока $t_{\max 1}$, с помощью которых может быть осуществлено заданное распределение $U_1(x)$. Воздействуют на МН с эталонным объектом импульсом поля с найденными параметрами и получают распределение $U_{11}(x)$, показанное на фиг. 1 с протяженным ($7,2 \cdot 10^{-4}$ с - $1,6 \cdot 10^{-4}$ с) максимумом $U = 9 \cdot 10^{-2}$ В под осью индуктора. Отдельные всплески U связаны с некоторой неоднородностью МН. Распределение $U_{11}(x)$ отличается от распределения $U_1(x)$ в силу разных причин, например неточностей, связанных с погрешностями установки силы тока индуктора и определения гистерезисных свойств МН. Корректируют величины h , $I_{\max 1}$ и $t_{\max 1}$, воздей-

ствуют на МН с эталонным объектом импульсом поля и получают распределение $U_{12}(x)$ с максимумом под осью индуктора, близкое к распределению $U_1(x)$. В частном случае функции $U_1(x)$, $U_{11}(x)$ и $U_{12}(x)$ совпадают и корректировка указанных величин не понадобилась.

Ввиду того, что при первом воздействии эти распределения мало отличаются друг от друга, можно считать, что на фиг. 1 изображено распределение $U_{12}(x)$. Задают величину $U_{\max 2}$ и функцию распределения $U_2(x)$ от координаты x МН, которые должны получиться при воздействии на МН последовательно первым и вторым импульсами тока для такого же расстояния h индуктора от МН, находят величину $I_{\max 2}$ импульса тока противоположного направления, который надо пропустить через индуктор, а также время нарастания $t_{\max 2}$ и форму этого импульса. После этого воздействуют на МН с эталонным объектом последовательно двумя указанными импульсами поля и получают распределение $U_{21}(x)$, отличное от распределения $U_2(x)$. Распределение $U_{21}(x)$ показано на фиг. 2. Корректируют величины h , $I_{\max 1}$ и $t_{\max 1}$, $I_{\max 2}$ и $t_{\max 2}$, воздействуют на МН импульсом с откорректированными параметрами и получают распределение $U_{22}(x)$, близкое к распределению $U_2(x)$ и соответствующее намагничиванию части МН в противоположном первому импульсу направлении. Это распределение показано на фиг. 3. Задают величину $U_{\max 3} = 0$ и функцию распределения $U_3(x)$ от координаты x МН, которые должны получиться при воздействии на МН последовательно первым, вторым и третьим импульсами тока для того же расстояния h оси индуктора от МН, находят величину $I_{\max 3}$ импульса тока противоположного второму импульсу направления, а также время нарастания $t_{\max 3}$ импульса, соответствующее проникновению магнитного поля на эффективную глубину, равную толщине слоя контролируемого объекта или толщине объекта, и форму этого импульса без выбросов. Выбор такого времени нарастания импульса обусловлен тем, что позволяет получать максимальную точность контроля свойств объекта в слое заданной толщины или по всей толщине объекта.

Воздействуют на МН с эталонным объектом последовательно тремя указанными импульсами поля и получают распределение $U_{31}(x)$, отличное от заданного распределения $U_3(x)$. Распределение $U_{31}(x)$ показано на фиг. 4. Корректируют величины h , $I_{\max 1}$ и $t_{\max 1}$, $I_{\max 2}$ и $t_{\max 2}$, $I_{\max 3}$ и $t_{\max 3}$. Воздействуют на МН импульсом с откорректированными параметрами и получают распределение $U_{32}(x)$, близкое к распределению $U_3(x)$, имеющему минимум сигнала, равный $U_{\max 3} = 0$ под осью индуктора. Распределение $U_{32}(x)$ показано на фиг. 5, где величина $U_{\max 3} = 4 \cdot 10^{-3}$ В, то есть близка к нулю. Действуя таким же образом, можно еще более приблизить ее к нулю.

После этого воздействуют на контролируемый объект последовательно тремя найденными импульсами поля и получают соответствующие распределения $U(x)$, например, такое, как показано на фиг. 6, и определяют толщину объекта, величину удельной электропроводности σ материала объекта, величину его магнитной проницаемости μ и наличие в объекте дефектов сплошности по величине амплитуды сигнала под осью индуктора, то есть по величине первого максимума, а также по величине других максимумов и минимумов и расстояниям между ними, причем количество последовательных импульсов разной полярности или выбросов поля обратного направления воздействия на контролируемый объект определяют исходя из гистерезисных свойств МН и требований контроля.

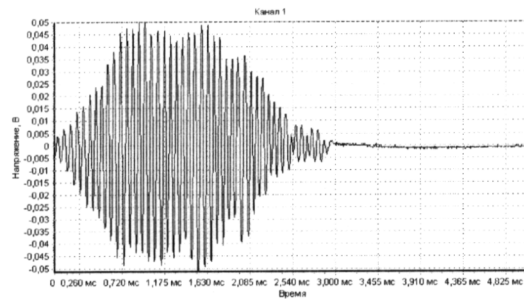
Путем сравнения распределений, изображенных на фиг. 5 и 6, можно определить толщину контролируемого объекта. Величина напряжения U первого максимума (средний на фигурах) для эталонного объекта толщиной $1,5 \cdot 10^{-5}$ м составляет $5 \cdot 10^{-3}$ В (фиг. 5), а для контролируемого объекта она равна $2,1 \cdot 10^{-4}$ В (фиг. 6). Пользуясь предварительно найденными данными градуировочных графиков для первого максимума можно найти толщину контролируемого объекта. Она равна $3 \cdot 10^{-5}$ м. Пример распределения $U(x)$ с 4 максимумами показан на фиг. 7 для контролируемого объекта другой толщины. При контроле

свойств объекта по распределению напряжения на этой фигуре следует учитывать количество максимумов U , их величину и расстояние между ними.

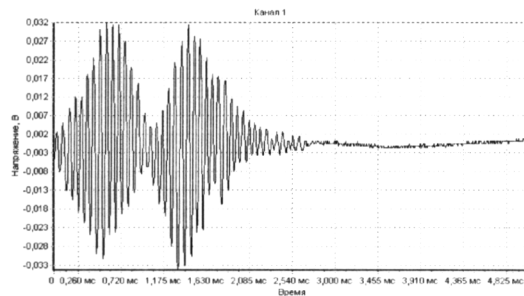
Величину σ материала объекта, величину его μ и наличие в объекте дефектов сплошности определяют по величине амплитуды сигнала под осью индуктора, то есть по величине первого максимума, а также по величине других максимумов и минимумов и расстояниям между ними путем сравнения с предварительно найденными распределениями $U(x)$ для эталонных объектов с известными σ , μ и известными параметрами дефектов.

Источники информации:

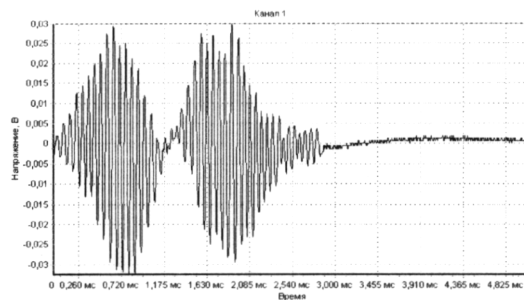
1. Методы неразрушающих испытаний / Под ред. Шарпа. - М.: Мир, 1972. - С. 394-412.
2. Мельгуй М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей. - Минск: Наука и техника, 1980. - С. 157-162.
3. Патент ВУ 10464, МПК G 01N 27/00, 2008 (прототип).



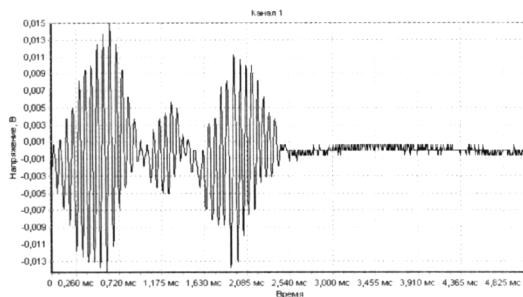
Фиг. 1



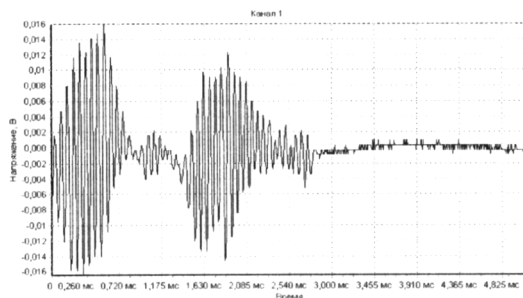
Фиг. 2



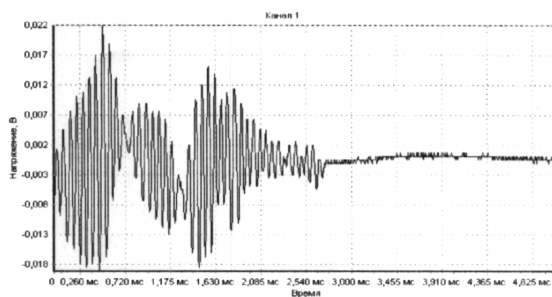
Фиг. 3



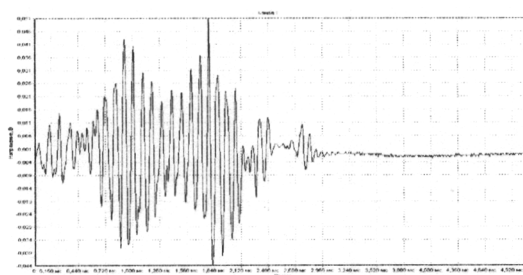
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7