

аппроксимации функциями вида  $\Delta T = A - \text{Вехр}(-Ct)$ . В рамках обсуждаемой модели из (2) следует, что  $A = \Delta T / (1 + (\alpha_w / \alpha_a) / (1 + \text{Bi}))$ , а  $C = (\alpha_a + \alpha_w / (1 + \text{Bi})) / c_m$ . На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости величин  $A$  и  $C$  от толщины теплоизоляционного слоя  $\delta_r$  и их аппроксимации по параметрам  $\alpha_w / \alpha_a$ ,  $\text{Bi} / \delta_r$  и  $\alpha_a / c_m$  в соответствии с приведенными зависимостями.

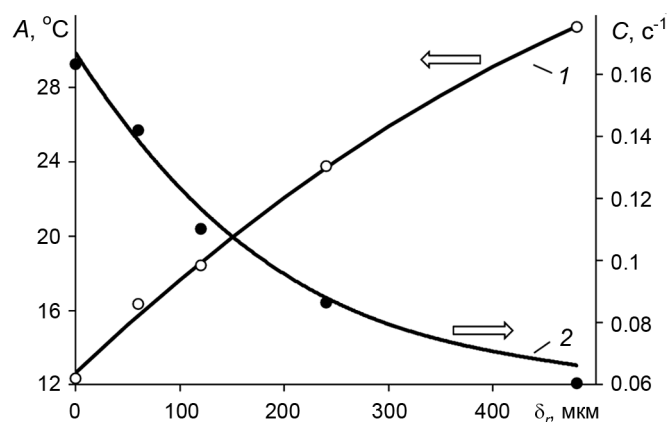


Рис. 2. Установившаяся температура перегрева  $A$  наружной стороны металлической стенки (кр. 1), найденная в результате аппроксимации, и показатель экспоненты  $C$  (кр. 2) в зависимости от толщины теплоизоляционного слоя  $\delta_r$  на внутренней стороне стенки (показаны кружочками) и их аппроксимации функциями, следующими из уравнения (2) (сплошные кривые)

Хорошее согласие экспериментальных данных с результатами аппроксимации позволяет при известных параметрах потока воздуха  $T_a$ ,  $\alpha_a$  и теплофизических характеристиках материалов стенки после калибровки получать из кинетики нагрева наружной поверхности стенки сосуда значения толщины металлического и неметаллического слоя стенки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.
2. Usamentiaga R., Venegas P., Guerediaga J., et al. // Sensors. – 2014. – V. 14. – P. 12305.
3. Vavilov V. P. and Burleigh D. D. // NDT & E International. – 2015. – V. 73. – P. 28.
4. Maldague X. // Mater. Evaluation. – 2002. – V. 60. – No. 9. – P. 1060.
5. Головин Ю. И. // ФТТ. – 2008. – Т. 50. – Вып. 12. – С. 2113.

НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы» ТГУ имени Г.Р. Державина,  
г. Тамбов, Россия

Поступило в редакцию 21.08.17.

Головин Юрий Иванович, д.ф.-м.н., профессор, директор, e-mail: golovin@tsu.tmb.ru;  
Тюрин Александр Иванович, к.ф.-м.н., доцент, зам. директора, e-mail: tyurin@tsu.tmb.ru;  
Головин Дмитрий Юрьевич, ведущ. специалист, e-mail: tarlin@yandex.ru;  
Самодуров Александр Алексеевич, к.ф.-м.н., доцент, ведущ. специалист, e-mail: samsasha@yandex.ru.

УДК 620.179.1

А.И. ПОТЕКАЕВ<sup>1</sup>, Г.Н. ПАРВАТОВ<sup>1</sup>, И.М. СМИРНОВ<sup>2</sup>, Н.П. ВИНТОНЯК<sup>3</sup>, В.А. ДОНЧЕНКО<sup>1</sup>,  
С.Д. ЗАМБАЛОВ<sup>1</sup>, И.А. ЯКОВЛЕВ<sup>1</sup>, В.А. СВЕТЛИЧНЫЙ<sup>1</sup>

#### СЕЛЕКТИВНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЬ

**Ключевые слова:** индукционный металлоискатель, импульсный метод переходных процессов, селективное обнаружение, инженерная разведка.

Анализ современного состояния разработок показывает, что у нас в стране и особенно за рубежом интенсивно ведутся разработки многофункциональных электромагнитных технических средств дистанционного обнаружения металлоосодержащих объектов, в том числе взрывоопасных, в различных вмещающих средах. При этом особое внимание уделяется развитию импульсных индукционных методов зондирования и

созданию на их основе универсальных портативных устройств для решения гуманитарных задач как наземной, так и подводной инженерной разведки. Следует отметить, что за рубежом появилось достаточно большое количество профессиональных металлоискателей, совмещающих в одном приборе функциональные возможности наземной и подводной инженерной разведки. Наиболее известные из них: Garrett Pro с рабочей глубиной погружения до 3 м, Garrett Infinium LS производства США с глубиной погружения до 65 м; Minelab F3 Compact с глубиной погружения до 3 м, Minelab Excalibur (Австралия) с рабочей глубиной погружения до 60 м; серия металлоискателей Kevag-150 «Выдра» (Украина) с глубиной погружения до 30 м; Mimid (Австрия) с рабочей глубиной погружения до 30 м.

В то же время в России отсутствуют разработки индукционных металлоискателей с аналогичными характеристиками.

Авторами предлагается оригинальный селективный индукционный металлоискатель (СИМ-2), предназначенный как для наземной, так и для подводной инженерной разведки.

Физический принцип действия разрабатываемого металлоискателя основан на импульсном методе переходных процессов. Его суть заключается в импульсном возбуждении вихревых токов в объектах поиска и в измерении амплитудно-временных характеристик неустановившегося процесса затухания вторичного электромагнитного поля в промежутках между зондирующими импульсами. На рис. 1 приведена структурно-функциональная блок-схема предлагаемого металлоискателя.

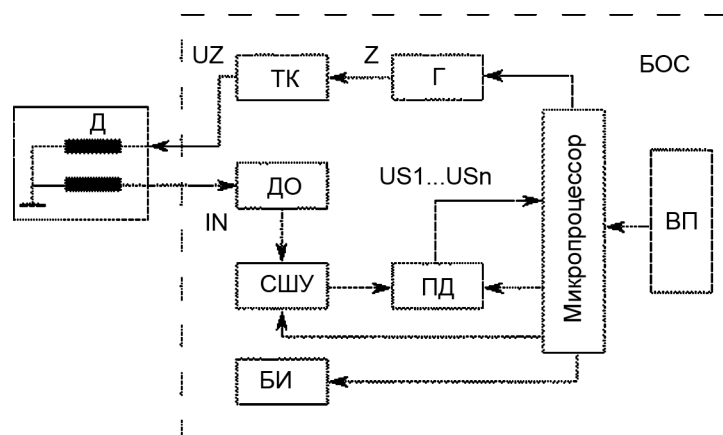


Рис. 1 Структурно-функциональная схема СИМ-2: Д – датчик; Г – генератор зондирующих и управляющих сигналов; ТК – токовый ключ; БОС – блок обработки сигналов; ДО – диодный ограничитель; СШУ – стробируемый широкополосный усилитель; БИ – блок индикации; БП – блок питания; UZ – зондирующий импульс; IN – сигнал с приемной катушки; US1...USn – измеренные сигналы в моменты времени S1...Sn; ПД – пороговый дискриминатор

Функцию возбуждения первичного электромагнитного поля и преобразования вторичного в электрический сигнал выполняет датчик (Д), состоящий из конструктивно совмещенных излучающей и приемной катушек индуктивности. Управляемые микропроцессором генератор (Г) и токовый ключ (ТК) формируют в возбуждающей катушке зондирующий импульс UZ, а в приемной катушке соответственно формируется принимаемый сигнал IN. Принятый сигнал последовательно поступает на двухсторонний диодный ограничитель (ДО), стробируемый широкополосный усилитель (СШУ) и пороговый дискриминатор (ПД), в котором вырабатывается информационный сигнал об объекте. Для определения факта наличия в поле датчика металлосодержащего объекта в определенные моменты времени осуществляются измерения SN (сигнал/шум) выборки из принятого сигнала IN и проводятся их сравнение между собой и порогом дискриминации, по результатам которых принимается то или иное решение.

По соотношению амплитуд и времени запаздывания измеряемых сигналов определяются наличие объекта и его тип по совокупности его электрофизических свойств. Для определения цвета металла («черный/цветной») анализируется знак приращения переходного процесса насыщения возбуждающей катушки индуктивности в конечный момент зондирующего импульса. Отличительной особенностью алгоритма обработки принимаемого сигнала является анализ всего переходного процесса от максимального до минимального значений, а не выборочных измерений в заданных временных интервалах.

В соответствии с приведенной выше функциональной блок-схемой разработан и изготовлен селективный индукционный металлоискатель (СИМ-2). Фото прибора в развернутом для работы виде представлено на рис. 2.

Изделие предназначено преимущественно для оперативной инженерной разведки в полевых условиях и представляет собой блочно-складную разборную конструкцию, в которой все конструктивные элементы выполнены из пластика по 3D-принтерной технологии. СИМ-2 состоит из поискового элемента (ПЭ), блока обработки сигналов (БОС), кассетного блока электропитания (ЭП) и коммутационного кабеля, полностью

размещенного в телескопической штанге. В сложенном виде изделие размещается в укладочной сумке с возможностью ношения её на поясном или плечевом ремне.

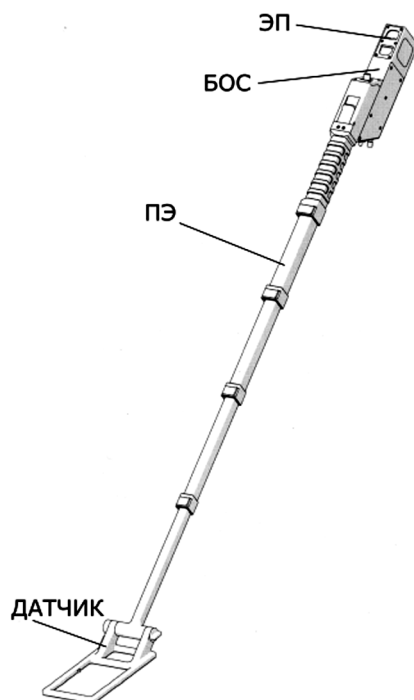


Рис. 2. СИМ-2 в рабочем положении

Основные преимущественные конструктивные особенности металлоискателя: конструкция симметричная с центром масс на оси штанги; коммутационный кабель, соединяющий приемо-излучающую катушку датчика с блоком электронной обработки сигналов, полностью защищен и размещен в телескопической штанге; корпус блока обработки сигналов герметичен и снабжен с одной стороны герметизированным отсеком для размещения и подключения кассетного блока электропитания, а с противоположной стороны фиксируемым устройством быстросъемного электромеханического герметичного соединения со штангой и коммутационным кабелем.

Проведены сравнительные испытания изделия СИМ-2 с зарубежным прототипом «Mimid» [1] на пяти типах грунтовых площадок (супесь, песок, глина, чернозем, дерновый грунт) испытательного полигона СФТИ ТГУ. Усредненные результаты испытаний СИМ-2 приведены в таблице в сравнении с «Mimid» и отечественным металлоискателем ИМП-С2, принятым на снабжение Вооруженными Силами РФ в 2013 г. (данные по ИМП-С2 взяты из [2]).

#### Тактико-технические характеристики

Параметры	СИМ-2	Mimid	ИМП-С2
Глубина обнаружения противотанковых (ПТМ) и противопехотных (ППМ) мин, установленных в грунт, см	До 60	До 60	До 50
ПТМ типа ТМ62М (с взрывателем МВЧ-62)			
ППМ типа ПМН-2	До 22	До 20	До 5
ППМ типа TS-50	До 14	До 10	Д5
Время непрерывной работы без замены элементов питания	8 ч	8 ч	8 ч
Количество источников питания типа АА, шт.	6	3	6
Масса миноискателя в рабочем положении, кг	Не более 1.3	1.36	2.7
Рабочая температура	От -40 °С до +60 °С	От -40 °С до +70 °С	От -30 °С до +50 °С

Сравнительные испытания показали, что тактико-технические и эксплуатационные характеристики разработанного макета СИМ-2 – на уровне лучших мировых аналогов, а по некоторым показателям превосходят их.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миниатюрный миноискатель Mimid. <https://schiebel.net/products/mimid/>
2. Селективный переносной индукционный миноискатель ИМП-С2. <http://mil.ru/mpc/equipment/more.htm?id=12010534%40morfMilitaryModel>.

<sup>1</sup> Сибирский физико-технический институт им. В.Д. Кузнецова  
Томского государственного университета, г. Томск, Россия

Поступило в редакцию 14.07.17.

<sup>2</sup> АО «Научно-исследовательский инженерный институт», г. Балашиха, Россия

<sup>3</sup> Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

---

**Потекаев** Александр Иванович, д.ф.-м.н., профессор, директор, e-mail: [potekaev@spti.tsu.ru](mailto:potekaev@spti.tsu.ru);

**Парватов** Георгий Николаевич, д.ф.-м.н., ст. науч. сотр., e-mail: [georgpa@yandex.ru](mailto:georgpa@yandex.ru);

**Смирнов** Игорь Михайлович, д.т.н., ген. директор, e-mail: [pochta@aoniii.ru](mailto:pochta@aoniii.ru);

**Винтоняк** Никита Павлович, аспирант, e-mail: [nic-nic91@yandex.ru](mailto:nic-nic91@yandex.ru);

**Донченко** Валерий Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор, зам. директора, e-mail: [don@spti.tsu.ru](mailto:don@spti.tsu.ru);

**Замбалов** Сергей Доржиевич, к.ф.-м.н., инженер-исследователь, e-mail: [zambalovsd@gmail.com](mailto:zambalovsd@gmail.com);

**Яковлев** Игорь Александрович, к.ф.-м.н., инженер-исследователь, e-mail: [yakovlev-i-a@yandex.ru](mailto:yakovlev-i-a@yandex.ru);

**Светличный** Валерий Анатольевич, к.ф.-м.н., зав. лабораторией, e-mail: [v\\_svetlichnyi@bk.ru](mailto:v_svetlichnyi@bk.ru).