

МЕТАЛОДЕТЕКТОРИ

*Абрамович А. О., студент,
Дяченко С. М., к.т.н., доцент
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"*

Проблема пошуку схованих металевих предметів під шаром землі вирішується за допомогою металошукачів, які мають певну класифікацію за принципом пошуку та призначенням і на ринку представлені багатьма моделями від різних фірм – виробників.

На даний час масово використовуються декілька принципів виявлення металів.

- **TR/IB** - Transmitter Receiver - Induction Balance (передача-прийом та баланс індукції) [1]

Такі металошукачі здатні до селекції металів за типом (кольорові або чорні). Сигнал, який відбивається від кольорового металу змінює свою фазу на протилежну, а від чорного фаза не змінюється – за цією ознакою розрізняють тип металу. Особливістю даної системи є наявність двох котушок у пошуковому датчику: одна з яких випромінююча, а друга приймальна, які налаштовують так, щоб у приймальній котушці був відсутній сигнал. Наявність металу між котушками змінює індуктивний зв'язок між ними, внаслідок цього з'являється сигнал у приймальній котушці.

Металодетектори, побудовані за даним принципом масово виробляються різними фірмами, оскільки відзначаються високою чутливістю (кращі серійні зразки можуть фіксувати наявність монети 25мм діаметром у полі котушки на відстані у 50см) та мають селекцію за типом металів, а також їх легко відстроїти від впливу землі та металевого сміття типу кришок від пивних пляшок. Прилади працюють на дуже низьких частотах, одиниці, рідше десятки кілогерц. Схемотехніка приладів достатньо складна й до жорсткості пошукових котушок пред'являються високі вимоги [2].

- **BFO** - Beat Frequency Oscillator (генератор биття частот)

Биттям називається явище, що найпомітніше проявляється при складанні двох періодичних сигналів з близькими частотами і приблизно однаковими амплітудами. Основою даного принципу є реєстрація різниці частот від двох генераторів - один з яких є стабільним по частоті, а інший містить датчик - котушку індуктивності.

Пошукова котушка не вимагає високоякісного виконання, схемотехніка

проста. Чутливість приладів низька, а по зміні частоти пошукової котушки визначити фазу відбитого сигналу неможливо, тому селективність у металошукача на биттях відсутня. За цим принципом будують дешеві прилади.

- **PI - Pulse Induction** (імпульсна індукція)

Прилад складається з генератора імпульсів струму, прийнятно – випромінюючої котушки, пристрою комутації і блоку обробки сигналу. Генератор імпульсів струму формує короткі імпульси струму діапазону мілісекундної тривалості, які поступають у випромінюючу котушку де перетворюються в імпульси магнітної індукції. В перервах між імпульсами приймається відбитий сигнал, який обробляється електронною схемою металошукача [1].

Позитивною відмінністю даного принципу є мала чутливість до впливу ґрунту, та велика глибина проникнення. Недоліком є погана чутливість до предметів малих розмірів і погана селективність за типом металів [2].

Технічні параметри найбільш поширених приладів [3]

Фірма – виробник	Назва моделі	Дальність виявл. на повітрі (монети діаметром 25мм / металевого відра), см	Принцип, за яким працює	Баланс ґрунта (компенсація впливу мінералізації ґрунта): ручна / автоматична/ фіксована
АКА	Юніор	40/180	TR/IB	+/-/-
Minelab	Musketeer	30/80	TR/IB	+/+/-
Garrett	ACE 250	20/60	TR/IB	-/-/+
Tesoro	Compadre	17/100	TR/IB	-/+/-
Fisher	1270	25/75	TR/IB	-/+/+
PULSE STAR	II PRO	-/120	PI	+/+/-

Вищевказані принципи і прилади на їх основі не відповідають в повній мірі багатьом потребам військових, археологів, геологів. Військовим необхідно, щоб прилади могли розрізняти вибухові предмети в ґрунті на фоні осколків та інших дрібних металевих предметів. Археологів більш цікавить пошук металевих предметів малих розмірів. Геологи зацікавлені у виявленні, наприклад, золотих самородків. Тому розробляються прилади за новими принципами.

Магнітометричний

Використання магнітометрів, як металошукачів, засноване на явищі локального спотворення природного магнітного поля Землі феромагнітними матеріалами, наприклад залізом. В порівнянні з розглянутими вище принципами, магнітометри мають набагато більшу дальність виявлення залізних предметів. Залізні предмети створюють аномалії, які фіксуються даними приладами.

При розвідках часто використовують протонний магнітометр ММР-203 виробництва С.-Петербурзького заводу «Геологорозвідка». У магнітометрі

використовується явище вільної магнітної прецесії протонів в зразку рідини, яка містить водень (вода, спирт), для вимірювання повної інтенсивності поля. Протони при обертанні поводять себе як магнітні диполі, які тимчасово поляризуються сильним однорідним магнітним полем, наведеним струмом у котушці. Коли поле вимикається, то обертання протонів змушує їх прецесувати навколо напрямку Земного магнітного поля, внаслідок чого протони генерують невеликий сигнал у тій же котушці. Частота того сигналу точно пропорційна повній інтенсивності Земного магнітного поля, яка може бути виміряна із точністю до 1нТл.

Дуже чутливими є цезієві магнітометри, їхня чутливість - близько 0,01 нТл, при тому, що металеві предмети створюють аномалії від 20 до 2000 нТл.

Їх принцип складніший ніж у протонних магнітометрів. Вони працюють на атомному, а не на ядерному рівні. Для поляризації використовується оптична лампа. Коли монохроматичне світло проходить через магнітне поле у металічному цезії, то виникає взаємодія між спінами металічного цезію і електромагнітними квантами світла. В цезієвому магнітометрі ПКМ-1 виробництва С.-Петербурзького заводу «Геологорозвідка» використовується металічний Цезій 133 [4].

Даний принцип розвивається з метою розробки якісного відеоаналізу схованого під поверхнею об'єкта, силові магнітні лінії від якого знімають магнітометром. Недоліком цієї групи приладів є нездатність до виявлення немагнітних матеріалів.

Тепловізійний або інфрачервоний

Такі прилади вимірюють зміну довжини хвилі або інтенсивності теплового випромінювання ґрунту, структура якого була порушена при закладанні міни, як приклад. Міни, закладені на глибину 10 - 20 см, зазвичай не впливають на температуру поверхні ґрунту, але порушення її структури може бути помітне через декілька місяців. Інфрачервоні системи, що формують зображення, мають просторову і температурну роздільну здатність (близько 0.1°C), яка достатня для виявлення порушення структури ґрунту пов'язаного із закладанням міни [5].

Прилади за цим принципом використовуються військовими для розмінувань. Цей принцип використовувався у проекті SMART (Space and airborne Mined Area Reduction Tools - обладнання зменшення замінованих площ за допомогою авіакосмічних систем).

Принцип, що використовувався у даному проекті, складається з декількох етапів:

✓ Сканування місцевості за допомогою активного чотирисмугового поляризаційного сенсора SAR (DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), пасивних електрооптичних сенсорів, а саме: сканера Daedalus (DLR), цифрової матричної камери видимого та близького до інфрачерво-

ного спектрів випромінювання (CROMAC – CROatian Mine Action Centre), теплової інфрачервоної камери (CROMAC), гіперспектрального лінійного сканера видимого та близького до інфрачервоного спектрів випромінювання (CROMAC);

✓ Обробка зібраної інформації;

✓ Виведення результатів на дисплей, на якому відображуються об'єкти, що викликали різні аномалії у ґрунті [6].

Як у ближньому ІЧ діапазоні (3-5 мкм), так і в дальньому (8-2 мкм) прилади за цим принципом знаходять практичне застосування [7]. Їх можна використовувати для швидкого пошуку цінних металів, оскільки вони дозволяють охоплювати великі площі.

Проте їх істотним недоліком є здатність виявляти міни (для цього в першу чергу і було створено проект) та інеродні предмети тільки у відносно сухому ґрунті (вологість близько 5%) і за відсутності високої рослинності [8].

Радіолокатори підповерхневого зондування

Підповерхневі радіолокатори випромінюють електромагнітну енергію на частотах в діапазоні від декількох сотень мегагерц до декількох гігагерц. Дослідження по застосуванню таких РЛС для виявлення мін проводяться впродовж останніх 20 років з використанням різних типів підповерхневих радіолокаторів. Досліджуються РЛС з сигналом відеоімпульсного і неперервного типу, неперервного випромінювання з частотною модуляцією, із ступінчастою зміною частоти [5].

В першу чергу розробляються радари з антенами, що знаходяться в безпосередній близькості від поверхні землі і переносяться оператором. Найбільша увага серед цього класу апаратури приділяється так званим підповерхневим радіолокаторам з відеоімпульсним сигналом, а також з сигналом і ступінчасто змінною частотою. Однією з найцікавіших розробок за цим принципом є американський проект HSTAMIDS (Handheld Standoff Mine Detection System – ручний прилад для розмінування) по доопрацюванню стандартного індукційного міношукача другим каналом – підповерхневим радіолокатором із ступінчасто змінною частотою [9].

Структурна схема датчика радара (Ground Penetrating Radar (GPR) – підповерхневий радар) згідно із стандартом позначення у США показана на рис.1. [10].

Роз'яснення позначень із структурної схеми патента № US 7,109,910 B1:

102 – основна радарна система, що спрямовує радіочастотні імпульси (RF) до міни **104** для приймання відбитих сигналів міною та їх аналізу. Основна радарна система **102** випромінює сигнал фіксованої частоти за один період своєї роботи. Приймач **106** отримує пакети даних інформації про відбитий міною сигнал **108** та обробляє їх, використовуючи часовий затвор

110 і затвор домена частотних коливань 112. 114 – це сигнал, який відбиває міна 104. Блок детектування 116 аналізує сигнал 114, щоб визначити чи це дійсно міна 104.

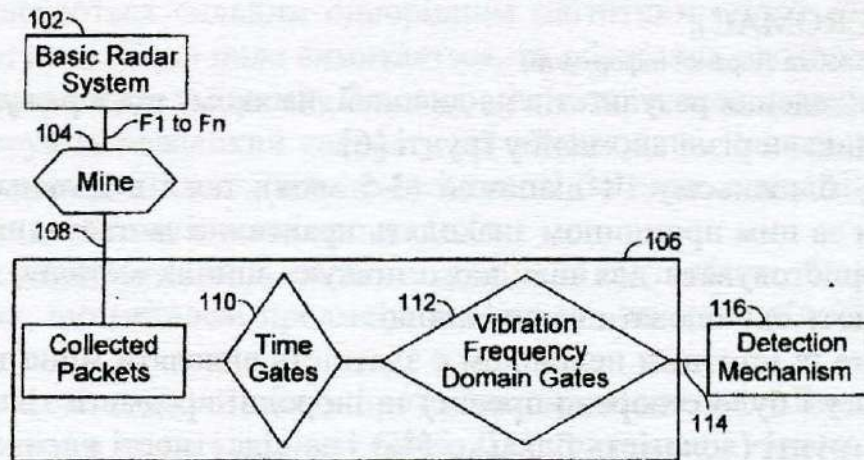


Рис. 1. Структурна схема датчика радара

Технічні характеристики

Робоча частота (МГц)	Розмір мішені (м)	Відстань виявлення (м)
25	1	5 – 30
50	0.5	5 – 20
100	0.1 – 1	2 – 15
200 – 250	0.05 – 0.5	1 – 10
500	0.04	1 – 5
800	0.02	0.4 – 2
1000	0.01	0.2 – 1

Дані прилади ефективні для пошуку немагнітних предметів у товщі укритиваючих середовищ, що є засміченими побутовим сміттям – типу кришок від пивних пляшок.

Радіометричні датчики

Радіометричні датчики (радіотеплолокатори) з початку 80-х років розглядаються як можливий метод виявлення мін. Радіотеплолокація багато в чому схожа з радіолокацією. Так само як і класична радіолокація, радіотеплолокація призначена для визначення координат віддалених об'єктів. Основною відмінністю обох методів є та обставина, що в радіолокації як джерело випромінювання, яке підсвічує ціль, використовується випромінювання, згенероване станцією самої радіолокації, а при виявленні об'єктів радіотеплолокатором як джерело підсвічування використовується природне випромінювання самих об'єктів і фону середовища у якому знаходяться невідомі об'єкти. В цьому відношенні радіотеплолокація близька до пасивних інфрачервоних датчиків виявлення, проте, в якості робочого діапазону використовується радіодіапазон в частині сантиметрових або міліметрових хвиль. Відзначимо також, що в літературі радіотеплолокатори зазвичай скорочено називаються радіометрами.

За допомогою таких датчиків можна виявляти великі магнітні предмети. Наприклад, відстань виявлення протитанкової міни типу ТМ-62М становить 15 – 20 м [5]. Дані прилади поки – що знаходяться на стадії розробки.

Датчики дистанційного параметричного підмагнічування

Принцип параметричного підмагнічування полягає у реєстрації штучно викликаних контрастів між об'єктом пошуку та природним фоном за рахунок додаткового опромінення досліджуваного простору. Даний принцип є окремим випадком нелінійно – параметричної локації. Можливості збільшення глибини виявлення металевих предметів обмежені завадами, що роблять недоцільним підвищення чутливості пошукових приладів. Збільшення глибини виявлення феромагнітних об'єктів штучного походження можливе завдяки створенню таких умов, при яких тіло буде сильніше спотворювати магнітне поле Землі чим при звичайних умовах. При напруженості намагнічуючого поля більш ніж на два порядки в порівнянні із геомагнітним полем Землі, дальність виявлення збільшується у 1.5 – 3 рази [11].

Експериментальні дані

Перенапруженість магнітного поля H/H_0 (раз)	0	50	100	150	200
Відстань виявлення (раз) r/r_0 Багнет-ножа	1	2	2.7	3	3.4
Відстань виявлення (раз) r/r_0 Гранати Ф – 1	1	1.4	1.6	1.9	2.1

Висновки

Серед усіх існуючих на даний час принципів, що переглянуті у цій статті перспективним принципом пошуку металів з різною магнітною проникністю (чорних та кольорових) є принцип дистанційного параметричного підмагнічування та тепловізійний. Принцип дистанційного параметричного підмагнічування дозволяє у разі підвищити відстань фіксації чорних металів. Тепловізійний принцип дозволяє виявляти немагнітні матеріали та виводити зображення схованої мішені.

В усіх металодетекторах використовуються приймальні антени різних типів. Теоретична оцінка структури електромагнітного поля, яке випромінюється підземною мішенню, а також експериментальні дані підтверджують, що найкращою прийнятною антеною є рамочна (без осердя) діаметром близько 20 – 30см [12]. Для зменшення втрат енергії через поглинання її зондуючим середовищем, необхідно у металопукачах знижувати частоту випромінюваного сигналу [13].

Про перспективність вищеописаних нових приладів свідчить публікації у професійних журналах [2,5,11,12,13] та наукові конференції, що проводяться за цією тематикою [14 – 23].

Література

1. www.detector.kiev.ua Металлоискатели
2. Щербаков Г.Н. Выбор электромагнитного метода зондирования для поиска объектов в толще укрывающих сред. журн. "Радиотехника", 2005, № 3, с. 77-79
3. alfadetect.ru Каталог и цены: Хиты продаж
4. Смекалова Т.Н., Восс О., Мельников А.В. Магнитная разведка в археологии. 19 лет применения Оверхаузеровского градиентометра. Симферополь: Доля, 2010, 76 с.
5. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. Гринёва А. Ю. М.: Радиотехника, 2005. 416 С.
6. <http://www.smart.rma.ac.be/#summary>. Space and airborne Mined Area Reduction Tools, May 2001- October 2004
7. Pernar R., Sapina R., Marinov A., Vuletic D., Matic C. & Bajic M.
The relevance, strength and likelihood of occurrence of the mine-field indicators and signatures used in the airborne and space-borne remote sensing of mine contaminated areas
New Strategies for European Remote Sensing, Oluic (ed.) © 2005 Millpress, Rotterdam,
8. Carter L.J., O'Sullivan M.J., Hung Y.J., Teng J.C.-C. Thermal Imaging for Landmine Detection. In Proc. of Second International Conference on the Detection of Abandoned Land Mines, MD'98. Edinburgh, UK, 12-16 October 1998, pp. 110- 114.
9. Radar Upgrades Handheld Mine Detectors. Jane's International Defense Review. February 1997.
10. Патент США, № US 7,109,910 B1 Дата патентування: Sep.19.2006
11. Щербаков Г.Н. Увеличение предельной глубины обнаружения локальных ферромагнитных объектов в толще проводящих укрывающих сред методом дистанционного параметрического подмагничивания. журн. "Радиотехника", 2005, № 12, с. 42-45
12. Хабаров В.Б., Структура электромагнитного поля, излученного подземным передатчиком с рамочной антенной, с учетом ближней зоны распространения радиоволн. журн. "Радиотехника", 2005 г., № 3, ст. 80-83.
13. Махонин Г.М., Обнаружение локационных объектов в сложных средах с поглощением, журн. "Радиотехника", 2006 г., № 2, ст. 90-95.
14. Dmitrienkov A.A., Ivashov S.I., Sablin V.N., Ufraykov B.A. Passive-Active MM Wave Radiometer for Detection of Mines installed on the Ground Surface. - In Proc. of 5th International Conf. on Radar Systems. Oral Session 1.7. May 17 – 21. 1999, Brest, France.
15. Использование современных методов обработки изображений в операциях по гуманитарному разминированию по материалам воздушного фотографирования / Ивашов С.И., Разевиг В.В., Парфенцев И.В., Харченко И.А., Алексеев Е.Г. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. — 2008. — № 2. — С. 89-103.
16. Ivashov S., Razevig V., Vasilyev I., Zhuravlev A., Bechtel T., Capineri L. The Holographic Principle in Subsurface Radar Technology, International Symposium to Commemorate the 60th Anniversary of the Invention of Holography, Springfield, Massachusetts USA, October 27-29, 2008, pp. 183-197.
17. Capineri L., Ivashov S., Bechtel T., Zhuravlev A., Falorni P., Windsor C., Borgioli G., Vasiliev I. Comparison of GPR Sensor Types for Landmine Detection and Classification, 12th Int. Conf. on Ground Penetrating Radar, June 16-19, 2008, Birmingham, UK.
18. Zhuravlev Andrey V., Bugaev Alexander S., Ivashov Sergey I., Razevig Vladimir V., Detection of mine-like objects in high-resolution aerial images, Proc. of SPIE Vol. 6739, 673905, (2007), SPIE Europe Remote Sensing Conf. Florence, Italy, 17-21 September 2007.
19. Ivashov S.I. Razevig V.V. Sheyko A.P. Vasilyev I.A. A Review of the Remote Sensing Laboratory's Techniques for Humanitarian Demining, Proceedings of International Conference on Requirements and Technologies for the Detection, Removal and Neutralization of Landmines and UXO, EUDEM2-SCOT-2003, 15-18 September 2003, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium, 2003, Vol. 1, pp3-8.

20. Васильев И.А., Ивашов С.И., Саблин В.Н., Чапурский В.В., Шейко А.П. Подповерхностные многочастотные голографические радиолокаторы типа "Раскан" для зондирования строительных конструкций и обнаружения миноподобных целей. Тезисы докладов. НТК "Георадар в России - 2000", МГУ, Отделение геофизики. С. 13-15.

21. Ivashov S.I., Makarenkov V.I., Razevig V.V., Sablin V.N., Sheyko A.P., Vasiliev I.A. Remote Control Mine Detection System with GPR and Metal Detector. Eight International Conference on Ground-Penetrating Radar, GPR'2000, May 23-26, 2000, University of Queensland, Gold Coast, Queensland, Australia, pp. 36-39.

22. Ivashov S.I., Makarenkov V.I., Razevig V.V., Sablin V.N., Sheyko A.P., Vasiliev I.A. Wide-Span Systems of Mine Detection. Mine Identification Novelties Euroconference. Villa Agape, Firenze - Italy, October 1-3, 1999, pp. 137-141.

23. Ивашов С.И., Васильев И.А., Журавлев А.В., Разевиг В.В.. Разработка технологии голографических подповерхностных радиолокаторов и ее применение. Успехи современной радиотехники, №1-2. 2009. С.5-19.

Абрамович А.О., Дяченко С.М. Металлодетектори. Дана стаття являється оглядовою по всім існуючим на даний час принципам пошуку металів – магнітних та немагнітних. Головна увага зосереджена на перспективних моделях. Приводяться порівняльні характеристики металлодетекторів різних типів та розглядаються можливі області їх застосування. Описані сучасні та перспективні принципи їх побудови, які активно розвиваються через їхню затребуваність у геології, археології та у військових цілях.

Ключові слова: *металошукач, магнітометр, інфрачервоні системи, радіолокатори підповерхневого сканування, радіометр, параметричне підмагнічування.*

Абрамович А.А., Дяченко С.М. Металлодетекторы. Данная статья является обзорной по всем существующим в настоящее время принципам поиска металлов - магнитных и немагнитных. Главное внимание сосредоточено на перспективных моделях. Приводятся сравнительные характеристики металлодетекторов различных типов и рассматриваются возможные области их применения. Описаны современные и перспективные принципы их построения, которые активно развиваются через их востребованность в геологии, археологии и в военных целях.

Ключевые слова: *металлоискатель, магнитометр, инфракрасные системы, радиолокаторы подповерхностного сканирования, радиометр, параметрическое подмагничивания.*

Abramovych A.O., Dyachenko S.M. Metalodetectors. This article is an overview of all currently existing principles of finding metals -magnetic and nonmagnetic.

The main attention is focused on advanced models. Presents the comparative characteristics of various types of metal detectors and consider possible areas of application. Modern and promising principles of their construction, described in this article, are being actively developed due to their geology, archeology and military importance.

Keywords: *Transmitter Receiver - Induction Balance, Beat Frequency Oscillator, Pulse Induction, magnetometer, thermal imaging or infrared system, subsurface scanning radars, radiometer, parametric magnetic biasing.*