



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **98145** (13) **C2**  
(51) МПК  
*H01F 7/02* (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2009 13770</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>28.12.2009</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.04.2012</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: <b>11.07.2011, Бюл.№ 13</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.04.2012, Бюл.№ 8</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Луб'яний Леонід Захарович (UA),</b> <b>Самофалов Володимир Миколайович (UA),</b> <b>Кравець Андрій Валерійович (UA),</b> <b>Станкевич Анатолій Іванович (UA),</b> <b>Коритченко Костянтин Володимирович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>Луб'яний Леонід Захарович,</b> пр. Тракторобудівників, 134-а, кв. 8, м. Харків, 61121 (UA), <b>Самофалов Володимир Миколайович,</b> вул. Дніпропетровська, 23, м. Харків, 61015 (UA), <b>Кравець Андрій Валерійович,</b> вул. Сумська, 124, кв. 45, м. Харків-23, 61023 (UA), <b>Станкевич Анатолій Іванович,</b> пр-т Леніна, 28, кв. 17, м. Харків-166, 61166 (UA), <b>Коритченко Костянтин Володимирович,</b> вул. Котлова, 252, кв. 21, м. Харків, 61052 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Samofalov V.N., Belozorov D.P., Ravlik A.G. The permanent Magnet Systems generating strong stray Fields with large localization region // J. Magnetism and Magnetic Materials. - Amsterdam (Holland), 2008. - V. 320/8. - P. 1490-1498. US 5034715 A1, 23.07.1991 US 5028902 A1, 02.07.1991 SU 1741183 A1, 15.06.1992 SU 513396 A1, 24.05.1976</p>
--	---

## (54) МАЛООБ'ЄМНА СИСТЕМА ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ ДЛЯ ГЕНЕРУВАННЯ СИЛЬНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ РОЗСІЯННЯ (ВАРІАНТИ)

### (57) Реферат:

Систему постійних магнітів застосовують в пристроях, де потрібне генерування сильного постійного магнітного поля у великому об'ємі - наприклад, холодильне устаткування на основі магнітокалоричного ефекту, магнітні спектроскопи та інше. Система магнітів для генерування сильних магнітних полів у великій області простору при малому об'ємі магнітного матеріалу включає щонайменше два магніти, що розташовані на віддаленні один від одного, щонайменше одну область простору, яка утворюється між вказаними магнітами, й щонайменше одну об'ємну, що охоплює вказані магніти. При цьому вектори намагніченості вказаних магнітів мають

UA 98145 C2

радіальну й осьову компоненти, вектори радіальної намагніченості вказаних магнітів, що утворюють вказану область, мають протилежний напрямок намагніченості, матеріал вказаних магнітів має поле одноосьової анізотропії не менше  $10^5$  А/см та коерцитивну силу, не меншу за індукцію насичення вказаного матеріалу. Осьова компонента намагніченості задається таким чином, що кут, який утворюється між вектором намагніченості та площиною, яка перпендикулярна осі вказаних магнітів, знаходиться в діапазоні  $\alpha = 0,1 \div 60^\circ$ , причому проекції векторів намагніченості на вказану вісь є паралельними. В іншому варіанті система магнітів для генерування сильних магнітних полів у великій області простору при малому об'ємі магнітного матеріалу включає щонайменше дві магнітні підсистеми, які розташовані віддалено одна від одної, щонайменше одну область простору, яка утворюється між вказаними магнітними підсистемами, та щонайменше одну обійму, що охоплює вказані магніти, причому магнітна підсистема складається з сукупності окремих магнітів у формі секторів, які прилягають один до одного. Матеріал вказаних магнітів має поле одноосьової анізотропії не менше  $10^5$  А/см й коерцитивну силу, не меншу за індукцію насичення вказаного матеріалу, компоненти векторів намагніченості в кожному з магнітів щонайменше в одній з вказаних магнітних підсистем паралельні бісектрисам секторів й направлені до центрів на загальній осі вказаних магнітних підсистем, а компоненти векторів намагніченості в кожному з магнітів щонайменше в іншій магнітній підсистемі паралельні бісектрисам та направлені від центрів на вказаній загальній осі, при цьому вказану область утворюють вказані магнітні підсистеми, що мають протилежний напрям намагніченості у напрямку до центрів на вказаній осі. Вектор намагніченості у вказаних магнітних підсистемах, окрім компоненти намагніченості в площині, що перпендикулярна вказаній осі, має також й компоненту намагніченості уздовж вказаної осі, задану таким чином, що кут, утворений між вектором намагніченості та площиною, яка перпендикулярна вказаній осі, знаходиться в діапазоні  $\alpha = 0,1 \div 60^\circ$ , причому проекції векторів намагніченості на вказану вісь є паралельними. Сукупність ознак у винаході дозволяє знизити малогабаритні показники пристроїв, що використовують постійне сильне магнітне поле, яке генерується у великому об'ємі, підвищити на 10 % середнє значення питомого магнітного поля.

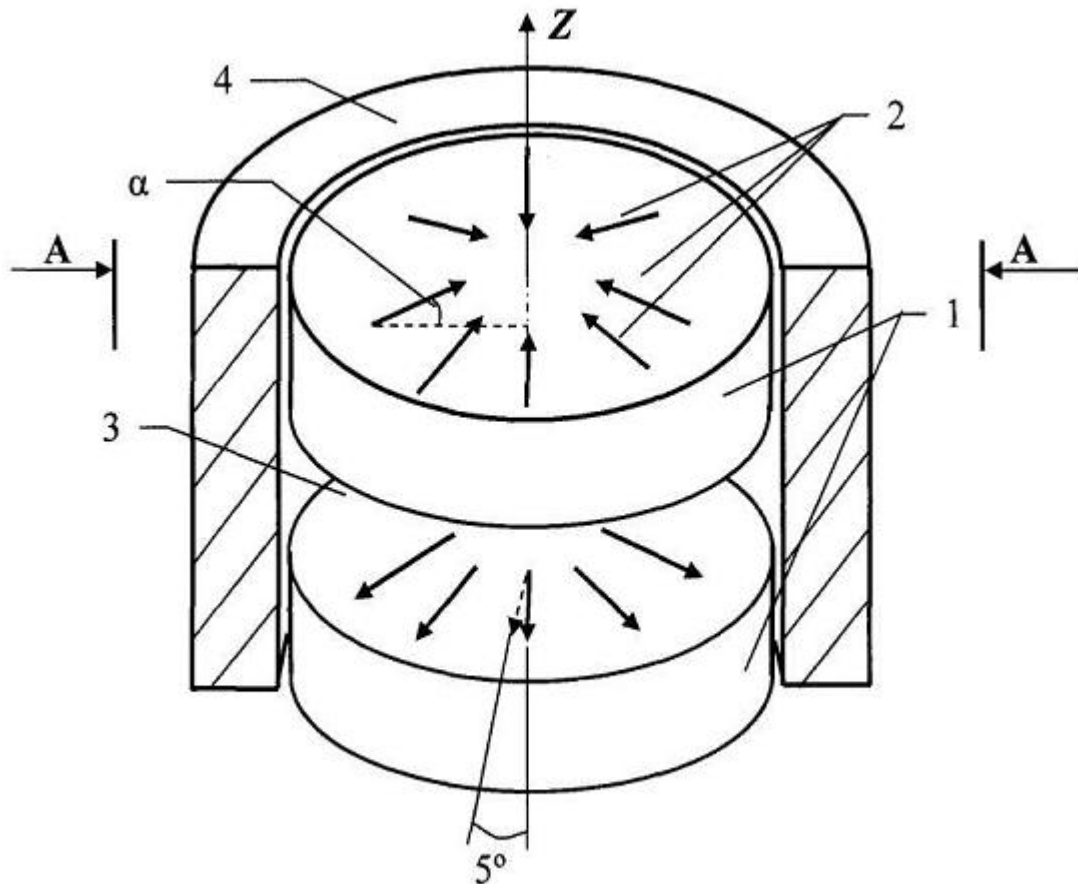


Fig. 5

Винахід належить до пристроїв, що призначені для генерування сильного магнітного поля за допомогою постійних магнітів з гігантською анізотропією шляхом системного розміщення цих магнітів по відношенню один до одного у просторі в залежності від їх магнітних властивостей.

В кінці 60-х років минулого століття було відкрито новий клас магнітних матеріалів - сполучення 3d-ферромагнетиків з рідкісноземельними металами. Розроблені на їх основі постійні магніти мають рекордно високі магнітні характеристики. Унікальність магнітних властивостей цих матеріалів обумовлена, перш за все, їх гігантською магнітною анізотропією, поле якої досягає, наприклад, в  $\text{SmCo}_5$  майже 500 кЕ. Про це давно відомо, та ця область досить добре вивчена. Але відносно того, що постійні магніти з гігантською магнітною анізотропією можуть генерувати великі поля розсіяння, що перевищують значення індукції речовини магнітів у декілька разів, стало відомо лише за останні 10-20 років. Вперше великі поля розсіяння були виявлені в системі магнітів у вигляді циліндра Хальбаха [1-4]. Практично всі роботи з генерування сильних полів розсіяння пов'язані з модифікацією циліндра Хальбаха. У ряді робіт [2, 3] підкреслюється винятковість системи магнітів у вигляді циліндра Хальбаха, та такий циліндр називається магічним.

В роботах [5-10], що виконані декілька пізніше, було показано, що сильні поля розсіяння (поля із значеннями напруженості, які перевищують індукцію насичення  $B_s$  речовини магніту, тобто  $H > B_s = 4 \cdot \pi \cdot M_s$ , де  $M_s$  - намагніченість насичення) виникають в різних типах систем магнітів, як з однорідним за напрямком та модулем розподілом намагніченості, так й з неоднорідним. Встановлено, що необхідною умовою виникнення сильних полів розсіяння є гігантська магнітна анізотропія речовини магніту. При цьому поле одноосної анізотропії  $H_K$  має бути істотно вищим за поле розсіяння  $H_K \gg H$ , а коерцитивна сила  $H_C \approx H$ . У цих роботах була проведена оптимізація різних типів систем магнітів й обчислені граничні значення полів розсіяння для різних джерел сильного поля. Так, граничне значення сильного поля в системі магнітів у формі циліндру характеризується залежністю  $H \approx 4\pi M_s \cdot \ln(R/r)$ , де  $R$  - зовнішній радіус циліндра,  $r$  - відстань від осі циліндра до точки спостереження поля. Отримані розрахункові дані знайшли експериментальне підтвердження в роботах [5-8]. Завдяки останнім дослідженням відкривається можливість широкого практичного використання сильних полів в різних областях сучасної техніки. Наприклад, одним з перспективних напрямів є використання системи магнітів в ходильних пристроях. У таких холодильних пристроях є важливим не лише отримання сильних магнітних полів, але й досягнення таких полів у великому об'ємі при малій масі (об'ємі) системи магнітів [12].

Відома система магнітів [1], що включає сукупність окремих магнітів у формі зрізаних секторів, що прилягають один до одного, та які створюють циліндроподібну форму. У відомій системі магнітів, що називається циліндром Хальбаха, генерування сильних полів розсіяння здійснюється в порожнині, що утворюється в області зрізання магнітних секторів. Магніти охоплюються обоймою для забезпечення механічної стійкості системи магнітів й замикання магнітного потоку між вказаними магнітами поза вказаною порожниною.

Застосування відомої системи магнітів дозволило генерувати магнітне поле розсіяння, напруженість якого досягає значень у  $20 \div 40$  кЕ.

Недолік відомої системи магнітів полягає в тому, що об'єм простору, в якому генерується сильне магнітне поле, значно менший за об'єм магнітів даної системи [4]. Тобто, така система магнітів є дуже громіздкою. Це призводить до обмеження можливих сфер застосування відомих систем магнітів. Наприклад, отримання сильних магнітних полів при малому об'ємі магнітного матеріалу є необхідним в холодильних системах малих розмірів, що працюють на основі магнітокалоричного ефекту.

Найбільш близькою до системи, що заявляється, є система магнітів, що включає щонайменше два магніти (поз. 1 на Фіг. 1), які розташовані віддалено один від одного [10]. Ці магніти мають радіальну намагніченість з центрами на їх геометричних осях (таку намагніченість прийнято називати неоднорідною). Тобто, вектори намагніченості (поз. 2 на Фіг. 1) пересікають під кутом  $90^\circ$  геометричну вісь магніту (вісь  $Z$  на Фіг. 1). Генерування сильного магнітного поля в даній системі магнітів здійснюється в області простору, що утворюється між магнітами (поз. 3 на Фіг. 1). Вектори радіальної намагніченості сусідніх магнітів мають протилежний напрям. Матеріал даних магнітів має поле одновісної анізотропії не менше за  $10^5$  А/см й значення коерцитивної сили не менше за індукцію насичення речовини даного магніту. Відхилення векторів намагніченості від радіального напрямку складає не більше  $5^\circ$ . Для забезпечення механічної стійкості системи магнітів та замикання магнітного потоку між

вказаними магнітами поза областю простору, де генерується сильне магнітне поле, магніти охоплюються обоймою (поз. 4 на Фіг. 1).

В іншому варіанті виконання відома система магнітів включає щонайменше дві магнітні підсистеми, що розташовані на віддаленні одна від одної, й щонайменше одну область простору, що утворюється між вказаними магнітними підсистемами та в якій генерується сильне магнітне поле [10]. Магнітна підсистема складається з сукупності окремих магнітів (поз. 1 на Фіг. 2) у формі секторів, що прилягають один до одного. Матеріал даних магнітів має поле одновісної анізотропії не менше  $10^5$  А/см й значення коерцитивної сили не менше за індукцію насичення матеріалу даних магнітів. Вектори намагніченості (поз. 2 на Фіг. 3) в кожному з магнітів в одній з магнітних підсистем паралельні бісектрисі сектора (відрізок ОА на Фіг. 3), яка перпендикулярна геометричній осі даної підсистеми, й направлені до даної осі. Вектори намагніченості в кожному з магнітів в іншій магнітній підсистемі паралельні бісектрисі сектора, яка перпендикулярна геометричній осі даної підсистеми, й направлені від даної осі. Підсистеми з вищезгаданим напрямом намагніченості прийнято називати квазінеоднорідними.

Використання відомих систем магнітів дозволило досягнути великих областей локалізації  $\Delta r$  сильного поля, що порівнянні з діаметром циліндрового магніту:  $\Delta r \approx 2 \cdot R$  [10]. Так, в області простору, що утворюється між двома циліндричними магнітами з радіальною намагніченістю, величина поля розсіяння для точок на осі циліндрів характеризується залежністю  $H_z(z) \approx 4\pi M_s \cdot \ln(2z/R)$ . В результаті, у відомій системі у вузькій області ( $\delta < 0,1 \cdot R$ ) простору між двома магнітами значення компоненти поля  $H_z$  розсіяння, що є середнім за об'ємом даного простору, майже вдвічі перевищує індукцію насичення матеріалу магніту  $\langle H_z \rangle \approx 2B_s$ .

Недолік відомих систем магнітів полягає в тому, що середнє значення осьової компоненти поля  $H_z$  розсіяння в області простору між двома магнітами (або двома магнітними підсистемами) не досягає свого максимального значення, що є можливим за такого самого об'єму магнітного матеріалу й за тих самих геометричних розмірів системи магнітів.

Задачею даного винаходу є удосконалення відомих магнітних систем, внаслідок чого в робочому просторі між магнітами досягається більш високі значення середнього поля при малому об'ємі магнітного матеріалу. У таких системах важлива не лише величина поля в робочому просторі, але також й розмір магнітів, що створюють це поле. Для обліку вказаного чинника був введений параметр - питоме поле  $H_{SP}$ . Оскільки залежність магнітокалоричного ефекту від напруженості магнітного поля близька до лінійної [11], то при обчисленні питомого поля  $H_{SP}$  була використана формула:

$$H_{SP} = \frac{\int_{V_W} H(x, y, z) dV}{V_W + V_M},$$

де  $V_M$  - об'єм магніту;  $V_W$  - об'єм робочого простору;  $H(x, y, z)$  - напруженість поля в цьому просторі. За величиною питомого поля можна дати кількісну оцінку ефективності різних систем магнітів.

Задача повинна вирішуватися шляхом використання систем магнітів, які окрім радіальної компоненти намагніченості мають також й осьову компоненту векторів намагніченості. В разі виконання системи магнітів з підсистеми магнітів у вигляді сукупності магнітів у вигляді секторів, вектора намагніченості в кожному з магнітів підсистем, окрім компоненти в площині, що перпендикулярна до осі підсистеми магнітів, додають також й компоненту намагніченості уздовж осі підсистеми магнітів.

Поставлена задача вирішується системою магнітів, що пропонується, з неоднорідною намагніченістю, яка, подібно пристрою-прототипу, включає щонайменше два магніти, які розташовані на віддаленні один від одного й що мають радіальну намагніченість з центрами на загальній осі магнітів. Відхилення векторів намагніченості від радіального напрямку в кожному з даних магнітів складає не більше  $5^\circ$ . Генерування магнітного поля здійснюється в області простору, що утворюється між магнітами. При цьому вектора намагніченості сусідніх магнітів мають протилежний напрям. Матеріал магнітів в даній системі має поле одновісної анізотропії не менше  $10^5$  А/см й значення коерцитивної сили не менше за індукцію насичення матеріалу магніту, що використовується. Магніти охоплюються обоймою з метою їх механічного утримання. Обойма також забезпечує замикання магнітного потоку поза порожниною між магнітами.

Поставлену задачу також вирішує інша квазінеоднорідна система магнітів, яка, подібно пристрою-прототипу, включає щонайменше дві магнітні підсистеми, що розташовані на

віддаленні одна від одної, й щонайменше одну область простору, що утворюється між вказаними магнітними підсистемами та в якій генерується сильне магнітне поле. Магнітні підсистеми охоплюються обоймою. Магнітна підсистема складається з сукупності окремих магнітів у формі секторів, що прилягають один до одного. Матеріал даних магнітів має поле

5 одноосної анізотропії не менше  $10^5$  А/см й коерцитивну силу не меншу за індукцію насичення матеріалу магніту. Магнітні підсистеми мають загальну вісь. Вектори намагніченості в кожному з магнітів, щонайменше в одній з вказаних магнітних підсистем, паралельні бісектрисам секторів й направлені до центрів на загальній осі магнітних підсистем. Вектори намагніченості в кожному

10 з магнітів в іншій магнітній підсистемі паралельні бісектрисам секторів й направлені від загальної осі. При цьому, відхилення векторів намагніченості магнітів від даних напрямів складає не більше  $5^\circ$ . В даній системі область, де генерується сильне поле, утворюють магнітні підсистеми, що мають протилежний напрям намагніченості у напрямку до загальної осі.

На відміну від пристрою-прототипу, в системі магнітів з неоднорідною намагніченістю, що пропонується, вектор намагніченості в даних магнітах має, окрім радіальної компоненти намагніченості, що утворюється в площині, яка перпендикулярна загальній осі магнітів, й компоненту уздовж даної осі. Співвідношення між компонентами намагніченості визначається залежно від кута  $\alpha$ , що утворюється між вектором намагніченості й площиною, яка перпендикулярна загальній осі магнітів. Кут  $\alpha$  задається в діапазоні від  $0,1^\circ$  до  $60^\circ$ . В даній системі магнітів проекції векторів намагніченості на загальну вісь є паралельними.

20 Магніти можуть мати циліндричну форму, однакові геометричні розміри, а вказана загальна вісь може збігатися з геометричними осями магнітів.

Поверхні магнітів, які обмежують область простору, утворену між магнітами, можуть виконуватися плоскими, причому дані поверхні можуть розташовуватися перпендикулярно до загальної осі магнітів.

25 Кут  $\alpha$  може задаватися залежно від відстані  $\delta$ , що утворюється між поверхнями магнітів, висоти  $H$  й радіуса  $R$  магнітів циліндричної форми з відхиленням не більше, ніж на 15 %, відповідно до формули:  $\alpha = \delta/R + A \cdot \delta/R + B \cdot (R \cdot \delta)/H$ , де  $a = 5$ ,  $B = 3$ .

Обойма, що охоплює магніти, може бути виконана з магнітного матеріалу у формі кільця. При цьому, індукція насичення матеріалу даної обойми може перевищувати індукцію насичення

30 матеріалу магнітів.

На відміну від іншого пристрою-прототипу, в іншій квазінеоднорідній системі магнітів, що пропонується, вектор намагніченості в підсистемах, окрім компоненти намагніченості в площині, що перпендикулярна загальній осі магнітів, має також й компоненту намагніченості уздовж даної осі.

35 Співвідношення між даними компонентами визначається кутом  $\alpha$ . Даний кут  $\alpha$  утворюється між вектором намагніченості й площиною, що перпендикулярна загальній осі. Значення даного кута знаходяться в діапазоні від  $0,1^\circ$  до  $60^\circ$ . При цьому, проекції векторів намагніченості на загальну вісь є паралельними.

Магнітні підсистеми можуть мати циліндроподібну форму, однакові геометричні розміри, а загальна ось може співпадати з геометричними осями магнітних підсистем.

Поверхні, що обмежують робочий об'єм між магнітами, можуть бути плоскими й орієнтованими перпендикулярно загальній осі системи магнітів.

Кут  $\alpha$  може задаватися залежно від відстані  $\delta$ , що утворюється між вказаними поверхнями магнітних підсистем, висоти  $H$  й радіуса  $R$  вказаних циліндроподібних магнітних підсистем, з відхиленням не більше, ніж на 5 %, відповідно до формули:  $\alpha = \delta/R + A \cdot \delta/R + B \cdot (R \cdot \delta)/H$ , де  $a = 5$ ,  $B = 3$ .

45

Обойма може бути виконана з магнітного матеріалу кільцеподібної форми. При цьому, індукція насичення матеріалу обойми може перевищувати індукцію насичення матеріалу даних магнітів підсистем.

50 Кількість вказаних магнітів у формі секторів в кожній з вказаних підсистем може не перевищувати восьми.

Розглянемо, як відмітні особливості систем магнітів, що пропонується, дозволяють вирішити поставлену задачу та досягти вищезгаданого технічного результату.

Використання систем магнітів з неоднорідною намагніченістю та квазінеоднорідних систем, в яких окрім радіальної є також й осьова компонента намагніченості дозволяє помітно збільшити значення питомого поля. Це видно на фіг. 4, де наведена залежність середнього поля від кута  $\alpha$  для системи магнітів з неоднорідною намагніченістю (крива 2) й квазінеоднорідних систем з 4-х магнітів в підсистемі магнітів (крива 1) та з 8-ми магнітів в підсистемі магнітів (крива 3). В розрахунку було прийнято, що  $\delta = 0,02R$ . Випадок, коли осьова

55

компонента намагніченості відсутня, відповідає куту  $\alpha = 0$ . Таким чином, збільшення кута  $\alpha$  до оптимального значення дозволяє підвищити середнє поле  $\langle H_z \rangle$ . У наведеному прикладі середнє поле в системі магнітів з неоднорідною намагніченістю при куті  $\alpha \approx 30^\circ$  збільшується більше, ніж на 10 %. Порівняння середнього поля  $\langle H_z \rangle$ , що отримується для системи магнітів з неоднорідною намагніченістю (крива 2) й неоднорідних систем з 8-ми магнітів в підсистемі магнітів (крива 3) показує, що залежності середнього поля  $\langle H_z \rangle$  від кута  $\alpha$  для цих систем практично однакові. Це свідчить про те, що недоцільно використовувати більше восьми магнітів у формі секторів в кожній з магнітних підсистем. З формули (1) виходить, що якісно подібний вигляд повинна мати залежність питомого поля від кута  $\alpha - (H_{SP}(\alpha))$ . Отримані значення питомого поля для неоднорідної системи при  $H = \delta = R$  дорівнює  $H_{SP} \approx 5 \cdot M_S$  (без врахування розмірів магнітопроводу) й з врахуванням розмірів магнітопроводу  $H_{SP} \approx 3,5 \cdot M_S$ . Слід зазначити, що для системи магнітів у вигляді модифікованого циліндра Хальбаха, яка запропонована в роботі [4], питоме поле не перевищує  $H_{SP} < M_S$ . Таким чином, запропоновані у винаході системи магнітів дозволяють підвищити питоме поле більше, ніж на 10 % в порівнянні з пристроєм-прототипом, й більш, ніж у 3,5 рази в порівнянні з модифікованим циліндром Хальбаха.

Кількість магнітів або магнітних підсистем в системі магнітів має бути не менше двох. Зі зростанням даної кількості забезпечується збільшення кількості областей простору, в якому генерується сильне магнітне поле.

Циліндрова форма магнітів (підсистеми магнітів) в системі, однакові геометричні розміри магнітів й збіг загальної осі магнітів з їх геометричними осями забезпечують досягнення найвищих значень питомого поля  $H_{SP}$ . В той же час, особливості конструкції пристроїв, де використовуватимуться запропоновані системи магнітів, можуть вимагати інших зовнішніх габаритів або іншого виконання системи. Це приведе до зниження значення питомого поля  $H_{SP}$  в просторі між магнітами.

Виконання поверхні магнітів (підсистеми магнітів), що обмежують область простору, в якій генерується сильне магнітне поле, плоскими й перпендикулярними до загальної осі магнітів також направлене на досягнення найвищих значень питомого поля  $H_{SP}$ . При цьому, незначні викривлення поверхні або невеликий кут нахилу плоскості не приводять до істотного зменшення середнього поля розсіювання в порожнині між магнітами.

Дослідження показали, що для отримання найбільшого середнього поля доцільно вибір кута  $\alpha$  здійснювати залежно від відстані  $\delta$ , що утворюється між поверхнями магнітів, висотою  $H$  та радіусом  $R$  циліндричних магнітів, з відхиленням не більше, ніж на 15 %, відповідно до формули:  $\alpha = \delta/R + A \cdot \delta/R + B \cdot (R \cdot \delta)/H$ , де  $a = 5$ ,  $B = 3$ .

Між магнітами даної системи виникають сили тяжіння й відштовхування. Тому запропонована система з вказаним положенням магнітів й розподілом намагніченості в них може бути механічно стійкою лише після розміщення її в спеціальну обойму. Як матеріал обойми слід використовувати магнітно-м'які матеріали з високими значеннями індукції насичення або постійні магніти. Індукція насичення вказаного матеріалу обойми перевершує індукцію насичення вказаного матеріалу магнітів. Простір між магнітами магнітопроводу можна також вважати робочим. Використання постійних магнітів як обойми також дозволить збільшити напруженість поля в робочому зазорі й величину питомого поля. Крім того, використання магнітної обойми, як показує досвід, істотно спрощує збірку запропонованої системи магнітів.

Із зростанням кількості магнітів в магнітній підсистемі, що пропонується, її параметри наближаються до параметрів магніту з неоднорідною намагніченістю. Але при цьому істотно ускладнюватиметься виробництво й збирання такої підсистеми. Дослідження показали, доцільно, щоб кількість магнітів у формі секторів в кожній із запропонованих підсистем не перевищувала восьми. В цьому випадку процес збирання не є дуже складним, а параметри такої магнітної підсистеми лише на 5 % гірші за магніт з неоднорідною намагніченістю.

Слід зазначити, що залежно від конструкції пристрою, в якому використовується система магнітів, робочим простором може бути не лише простір між магнітами, але також область простору над ними. Проте напруженість поля в цій області буде вдвічі нижчою.

Суть винаходу пояснюється графічними матеріалами.

На Фіг. 1 схематично показана система магнітів згідно з пристроєм-прототипом.

На Фіг. 2 схематично показане розташування магнітів у вигляді секторів в підсистемі магнітів в пристрої-прототипі.

На Фіг. 3 показаний напрям намагніченості магніту в підсистемі згідно з пристроєм-прототипом.

На Фіг. 4 показана залежність середнього поля  $\langle H_z \rangle$  від кута  $\alpha$  в різних системах магнітів.

На Фіг. 5 схематично показана система магнітів з неоднорідною намагніченістю відповідно до винаходу, що пропонується.

На Фіг. 6 схематично показаний вид системи магнітів з неоднорідною намагніченістю у поперечному перерізі відповідно до винаходу, що пропонується.

На Фіг. 7 показаний випадок, коли загальна вісь системи магнітів не збігається з геометричною віссю магніту.

На Фіг. 8 показаний напрям намагніченості магніту в підсистемі відповідно до винаходу, що пропонується.

Розглянемо пристрій системи магнітів з неоднорідною намагніченістю відповідно до винаходу, що пропонується. В наведеному на Фіг. 5 прикладі використовуються два магніти 1 циліндрової форми. Між магнітами утворюється область простору 3, в якій генерується сильне магнітне поле. Для забезпечення механічної стійкості системи магнітів й замикання магнітного потоку між магнітами поза даною областю простору магніти охоплюються обіймою 4. Особливості будови обійми, при яких забезпечується умова замикання магнітного потоку, в даному винаході не розглядаються. Вектора намагніченості 2 в магнітах 1 мають як радіальну, так й осьову компоненти намагніченості. Між вектором намагніченості та площиною, що є перпендикулярною до осі Z, утворюється кут  $\alpha$ . Вектори намагніченості можуть відхилятися від радіального напрямку на  $5^\circ$ . Радіальні компоненти векторів намагніченості в одному магніті направлені до осі Z, в іншому магніті радіальні компоненти векторів намагніченості направлені від осі Z, тобто вони є протилежними. Осьові компоненти векторів намагніченості є паралельними. У наведеному прикладі загальна вісь магнітів в системі збігається з геометричними осями магнітів 1.

На Фіг. 6 показаний поперечний переріз системи магнітів як з неоднорідної, так й квазінеоднорідної системою магнітів, що складається з двох магнітів 1 (або магнітних підсистем). У наведеному прикладі поверхні магнітів, які обмежують область простору 3, є плоскими, причому дані поверхні є перпендикулярними до загальної осі Z. В даній області 3 генерується сильне магнітне поле  $H_z$ . Площина 5 є перпендикулярною до осі Z. Між даною площиною 5 та векторами намагніченості 2 утворюється кут  $\alpha$ . Магніти мають однакові геометричні розміри з висотою H та радіусом R. Між поверхнями магнітів утворюється відстань  $\delta$ .

На Фіг. 7 показаний випадок, коли загальна вісь системи магнітів не збігається з геометричною віссю магніту при виді циліндрового магніту з його торця. Точкою M позначена загальна вісь системи магнітів, точкою N показано геометричну вісь магніту.

На Фіг. 8 показані вектора намагніченості 2 магніту 1 в підсистемі магнітів. Магніт 1 має форму сектора. При перетинанні площиною магніту у вигляді сектора під кутом  $90^\circ$  загальної осі Z між векторами намагніченості 2 та площиною утворюється кут  $\alpha$ .

Як магнітні матеріали в системі магнітів, що пропонується, можуть бути використані, наприклад, рідкісноземельні елементи: NdFeB, SmCo<sub>5</sub>, Fe-Pt тощо.

Виготовлення магнітів для підсистеми магнітів здійснюється відомими технологіями створення магнітів з однорідною намагніченістю. Для досягнення радіальної намагніченості в магнітах його поміщають в проміжок між двома соленоїдами, в яких створюються зустрічні магнітні поля. Осьову компоненту намагніченості можна реалізувати шляхом додаткового створення магнітного поля, що направлене уздовж осі.

Системи постійних магнітів, що заявляються, в порівнянні з відомими аналогічними рішеннями, мають такі переваги:

- дозволяють знизити малогабаритні показники пристроїв, що використовують постійне сильне магнітне поле, яке генерується у великому об'ємі;
- дозволяють підвищити на 10 % середнє значення питомого магнітного поля.

Джерела інформації

1. Halbach K. Application of permanent magnets in accelerators and electron storage rings / K. Halbach // J. Appl. Phys. - 1985. - Vol. 57(1), № 15 (4). - P. 3605-3608.
2. H. A. Leupold, G. F. McLane Fabrication of multipolar magnetic field sources // J. Appl. Phys. - 1999. Vol. 76 (10), № 15. - P. 6253-6255.
3. H. A. Leupold, and E. Potenziani. Design application of magnetic mirrors // J. Appl. Phys. - 1988. - Vol. 63 (8), № 15. - P. 3987-3988.
4. S. Gama, A. Coelho, A. Campos et al. Phys.Rev.Lett, 93, 237202 (2004).

5. Samofalov V.N., Ravlik A.G., Belozorov D.P., Avramenko B.A. Generation of strong inhomogeneous stray fields by high-anisotropy permanent magnets // J. Magnetism and Magnetic Materials, - Amsterdam (Holland), 2004. V. 281. P. 326-335

6. New Scanning Millimeter Waveband ESR-Microscope with Localized Magnetic Field / D. Belozorov, V. Derkach, G. Ermak, M. Nakhimovich, A. Ravlik, V. Samofalov, S. Tarapov, A. Zamkovoy // International Journal Infrared Millimeter Waves. - 2007. - Vol. 27, №1. - С 107-116.

7. Самофалов В.Н., Равлик А.Г., Белозоров Д.П., Авраменко Б.А.. Сильные магнитные поля рассеяния в системах из высокоанизотропных магнетиков// ФММ., 2004. 97, № 3, с. 15-23.

8. Ильяшенко Е.И., Лубяный Л.З., Самофалов В.Н. Измерение и визуализация сильных магнитных полей с помощью индикаторов на основе феррит-гранатовых пленок // Приборы и техника эксперимента (ПТЭ), 2005, № 4. - С. 1-6

9. Самофалов В.Н., Белозоров Д.П., Равлик А.Г. Оптимизация систем из постоянных магнитов // ФММ, 2006. 102, № 5. - С. 527-538

10. Samofalov V.N., Belozorov D.P., Ravlik A.G. The permanent Magnet Systems generating strong stray Fields with large localization region// J. Magnetism and Magnetic Materials.- Amsterdam (Holland), 2008. V. 320/8. P. 1490-1498

11. K.P. Belov, Rare-Earth Magnetism and their Application, Nauka, Moscow (1980) [in Russian].

12. Патент США № 6,680,663

20

## ФОРМУЛА ВНАХОДУ

1. Система магнітів, що включає щонайменше два магніти, які розташовані на віддаленні один від одного, щонайменше одну область простору, яка утворена між вказаними магнітами та в якій генерується сильне магнітне поле, та щонайменше одну обойму, що охоплює вказані магніти для забезпечення механічної стійкості системи магнітів й замикання магнітного потоку між вказаними магнітами поза вказаною областю простору, причому вказані магніти мають радіальну намагніченість з центрами на загальній осі вказаних магнітів й відхиленням векторів намагніченості від радіального напрямку не більше ніж на  $5^\circ$ , вектори радіальної намагніченості вказаних магнітів, що утворюють вказану область, мають протилежний напрям намагніченості, матеріал вказаних магнітів має поле одноосової анізотропії не менше  $10^5$  А/см й коерцитивну силу, не меншу за індукцію насичення вказаного матеріалу, яка **відрізняється** тим, що, для генерування сильних магнітних полів в області простору при малому об'ємі магнітного матеріалу, вектор намагніченості у вказаних магнітах, окрім радіальної компоненти, має також й компоненту намагніченості уздовж вказаної осі магнітів, яка задана таким чином, що кут, який утворюється між вектором намагніченості та площиною, яка перпендикулярна осі вказаних магнітів, знаходиться в діапазоні  $\alpha = 0,1 \div 60^\circ$ , причому проекції векторів намагніченості на вказану вісь є паралельними.

2. Система магнітів за п. 1, яка **відрізняється** тим, що магніти мають циліндричну форму, однакові геометричні розміри, а загальна вісь збігається з геометричними осями вказаних магнітів.

3. Система магнітів за п. 1, п. 2, яка **відрізняється** тим, що поверхні вказаних магнітів, які обмежують вказану область простору, є плоскими, причому вказані поверхні є перпендикулярними загальній осі.

4. Система магнітів за п. 2, п. 3, яка **відрізняється** тим, що кут  $\alpha$  заданий залежно від відстані  $\delta$ , що утворена між вказаними поверхнями магнітів, висоти  $H$  й радіуса  $R$  вказаних магнітів, з відхиленням не більше ніж на 15 %, відповідно до формули:  

$$\alpha = \delta / R + A \cdot \delta / R + B \cdot (R \cdot \delta) / H, \text{ де } \alpha = 5, \quad B = 3.$$

5. Система магнітів за пп. 1-4, яка **відрізняється** тим, що обойма виконана з магнітного матеріалу у формі кільця, причому індукція насичення матеріалу вказаної обойми перевищує індукцію насичення матеріалу вказаних магнітів.

6. Система магнітів, що включає щонайменше дві магнітні підсистеми, які розташовані на віддаленні одна від одної, щонайменше одну область простору, яка утворена між вказаними магнітними підсистемами та в якій генерується сильне магнітне поле, та щонайменше одну обойму, що охоплює вказані магніти для забезпечення механічної стійкості системи магнітів й замикання магнітного потоку між вказаними магнітними підсистемами поза вказаною областю простору, причому магнітна підсистема складається з сукупності окремих магнітів у формі секторів, що прилягають один до одного, матеріал вказаних магнітів має поле одноосової анізотропії не менше  $10^5$  А/см й коерцитивну силу, не меншу за індукцію насичення вказаного матеріалу, вектори намагніченості в кожному з магнітів щонайменше в одній з вказаних магнітних підсистем паралельні бісектрисам секторів й направлені до центрів на загальній осі



- вказаних магнітних підсистем, а вектори намагніченості в кожному з магнітів щонайменше в іншій магнітній підсистемі паралельні бісектрисам секторів й направлені від центрів на вказаній загальній осі, з відхиленням векторів намагніченості вказаних магнітів від вказаних напрямів не більше ніж на  $5^\circ$ , при цьому вказану область утворюють вказані магнітні підсистеми, що мають
- 5 протилежний напрям намагніченості у напрямку до центрів на вказаній осі, яка **відрізняється** тим, що, для генерування сильних магнітних полів в області простору при малому об'ємі магнітного матеріалу, вектор намагніченості у вказаних магнітних підсистемах, окрім компоненти намагніченості в площині, що перпендикулярна вказаній осі, має також й компоненту намагніченості уздовж вказаної осі, яка задана таким чином, що кут, який
- 10 утворюється між вектором намагніченості та площиною, що перпендикулярна вказаній осі, знаходиться в діапазоні  $\alpha = 0,1 \div 60^\circ$ , причому проекції векторів намагніченості на вказану вісь є паралельними.
7. Система магнітів за п. 6, яка **відрізняється** тим, що магнітні підсистеми мають циліндроподібну форму, однакові геометричні розміри, а вказана загальна вісь збігається з
- 15 геометричними осями вказаних магнітних підсистем.
8. Система магнітів за п. 6, п. 7, яка **відрізняється** тим, що поверхні магнітних підсистем, які обмежують вказану область простору, є плоскими, причому вказані поверхні є перпендикулярними загальній осі.
9. Система магнітів згідно з п. 7, п. 8, яка **відрізняється** тим, що вказаний кут  $\alpha$  заданий
- 20 залежно від відстані  $\delta$ , яка утворюється між вказаними поверхнями магнітних підсистем, висоти  $H$  й радіуса  $R$  вказаних циліндроподібних магнітних підсистем, з відхиленням не більше ніж на 5 %, відповідно до формули:  $\alpha = \delta/R + A \cdot \delta/R + B \cdot (R \cdot \delta)/H$ , де  $\alpha = 5$ ,  $B = 3$ .
10. Система магнітів за пп. 7-9, яка **відрізняється** тим, що вказана обойма виконана з магнітного матеріалу кільцеподібної форми, причому індукція насичення матеріалу вказаної
- 25 обойми перевищує індукцію насичення матеріалу вказаних магнітів підсистем.
11. Система магнітів за пп. 6-10, яка **відрізняється** тим, що кількість вказаних магнітів в формі секторів в кожній з вказаних підсистем не перевищує восьми.

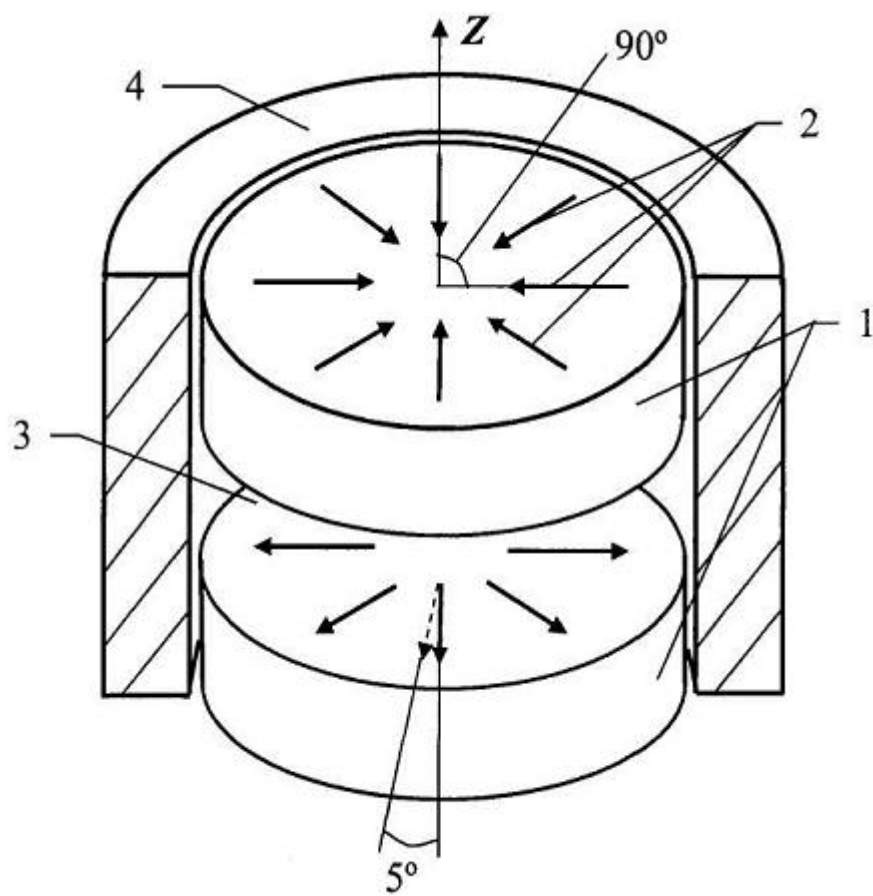


Fig. 1

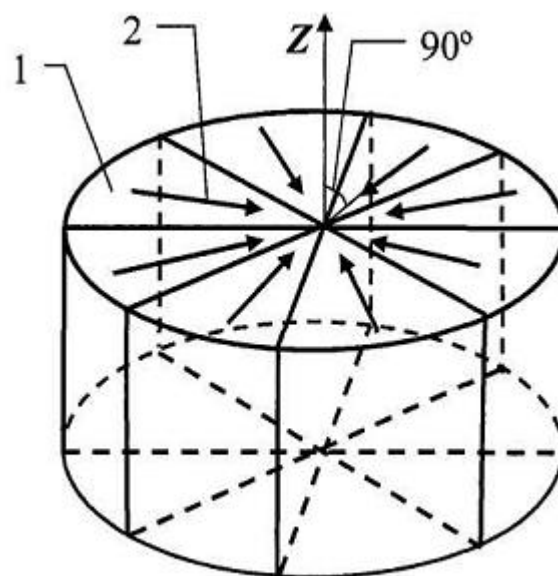


Fig. 2

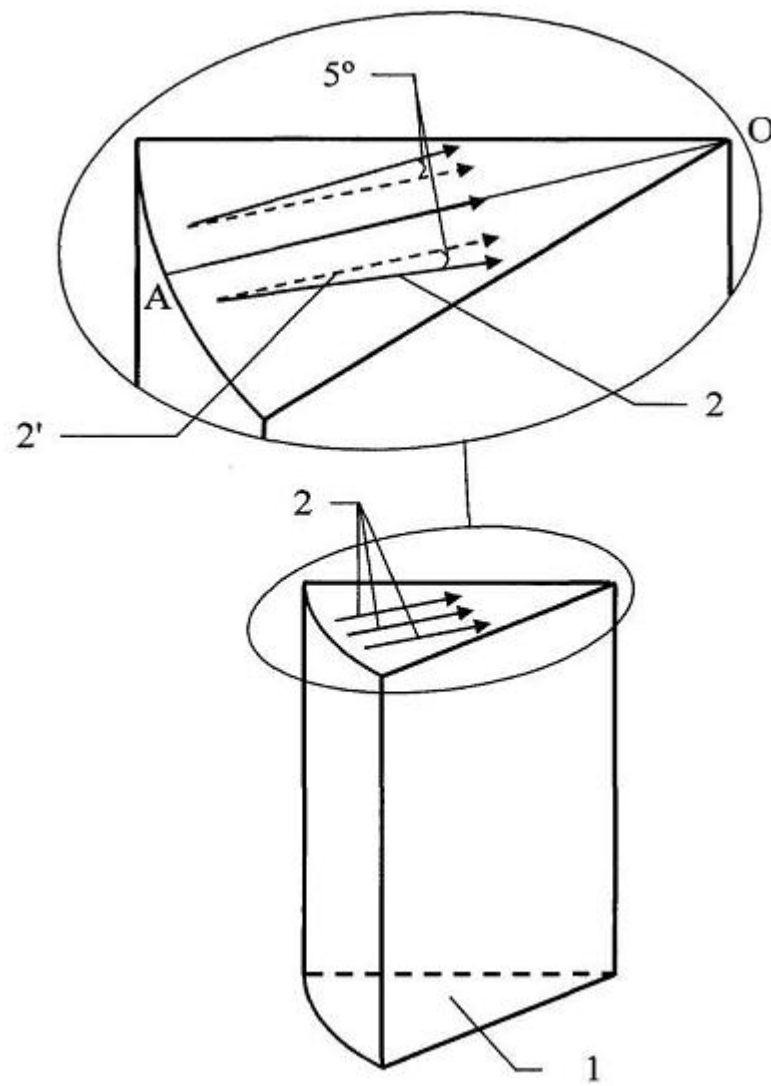


Fig. 3

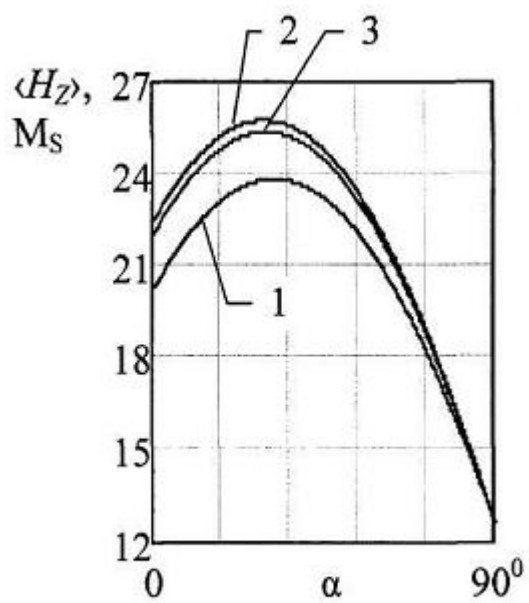


Fig. 4

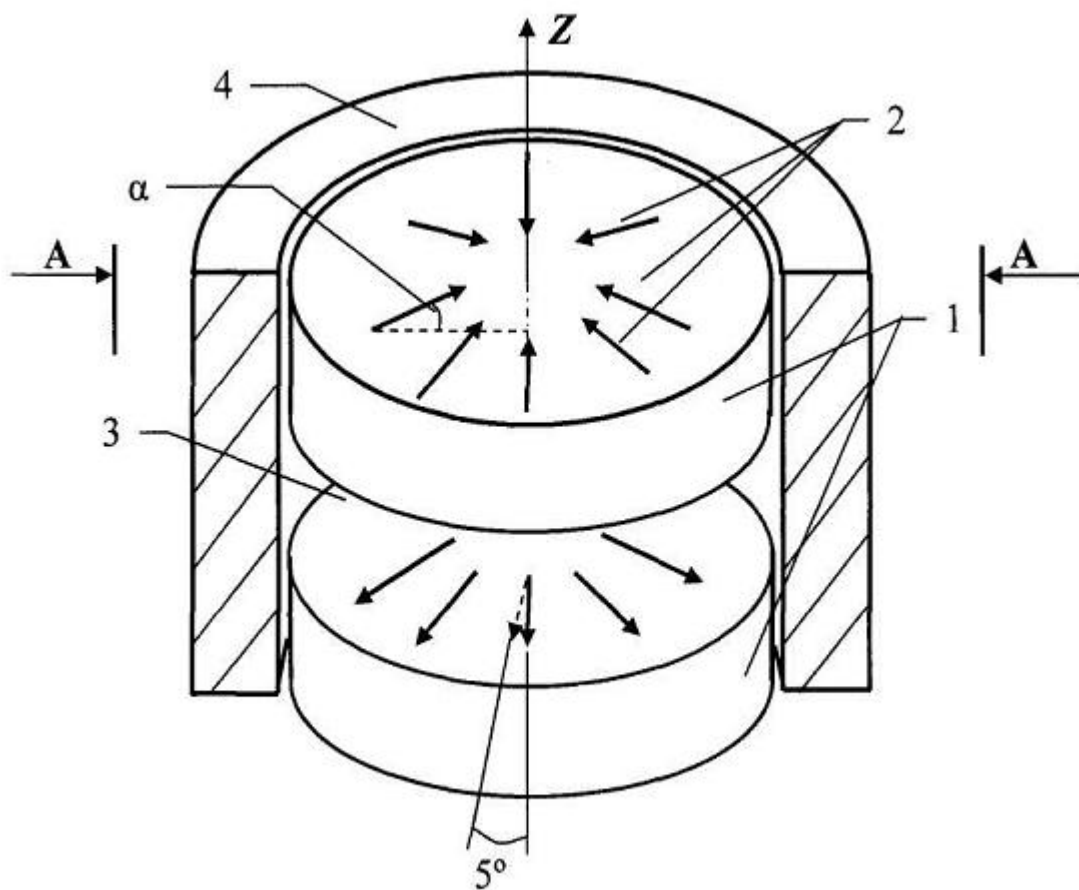
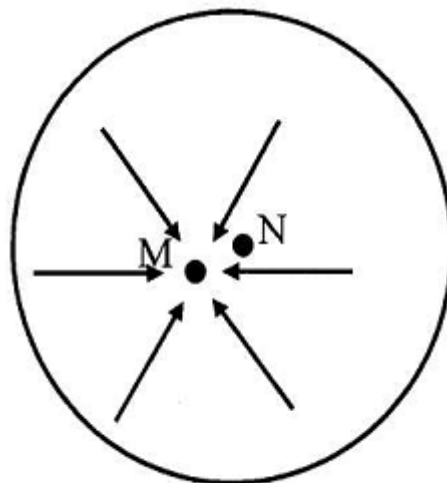
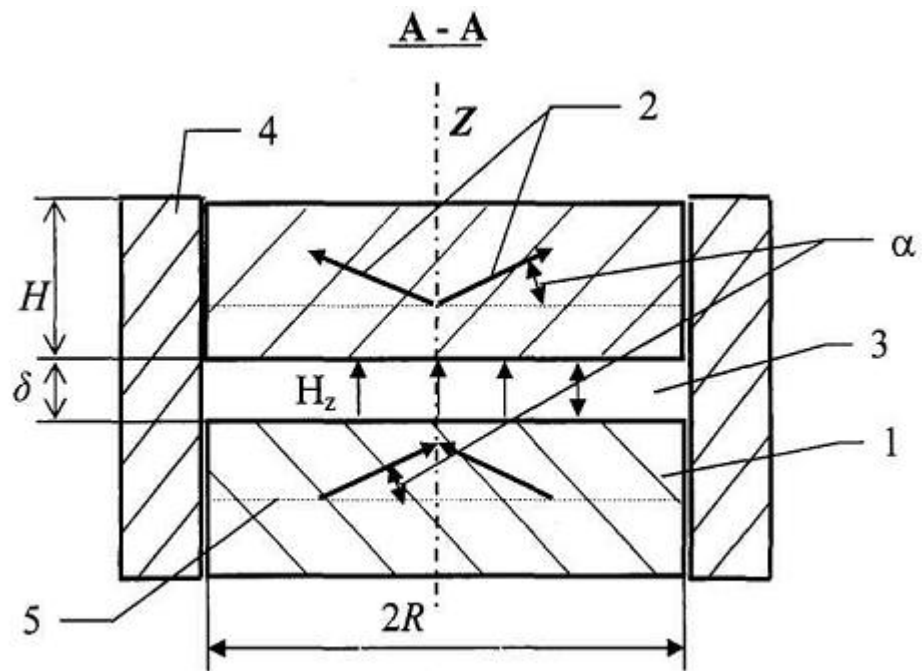


Fig. 5



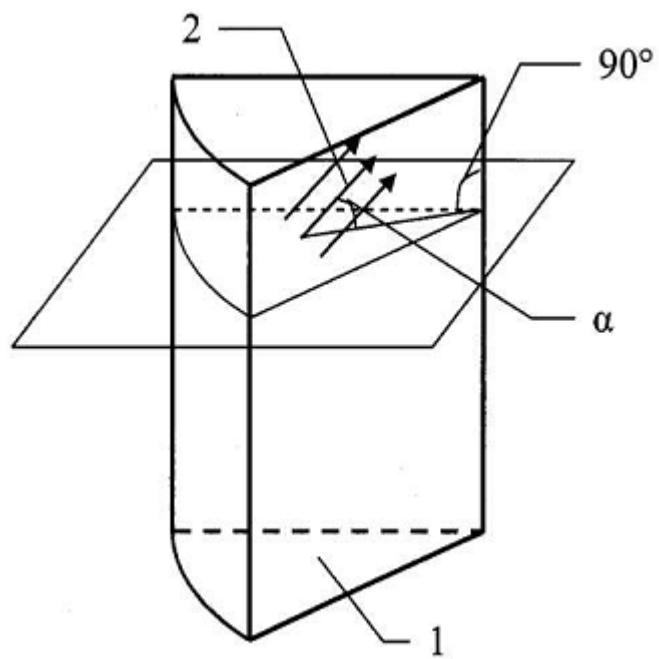


Fig. 8

---

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601