

**Інформаційні джерела**

1. Пат. № 56698 України. Спосіб переробки зношених шин загального призначення та великогабаритних автомобільних шин [Текст] / Е.С. Скорняков, О.М. Коробочка, О.О. Сасов, В.С. Авер'янов; власник – Дніпродзержинський державний технічний університет. – № у 2010 08087; заяв. 29.06.2010; публ. 25.01.2011, Бюл. №2.
2. Постников В.В. и др. Процессы на контактных поверхностях, износ режущего инструмента, свойства обработанной поверхности/ Постников В.В., Шарипов Б.У., Шустер Л.Ш. - Свердловск.: Изд-во Уральского университета, 1988. - 224 с.
3. Касаткин, М.М. Проблемы переработки амортизированных автомобильных шин и резино-технических изделий [Текст] / М.М. Касаткин. – М., 1998. – 64 с.
4. Скорняков, Е.С. Проблемы переробки зношених автомобільних шин [Текст] / Е.С. Скорняков, О.М. Коробочка, О.О. Сасов // Математичні проблеми технічної механіки-2009. Міжнародна наукова конференція 20–23 квітня. – Дніпродзержинськ-Дніпропетровськ – 2009 – С.185–187.
5. Перспективы развития в Украине технологии переработки изношенных автомобильных и тракторных шин [Текст] / А.А. Сасов, Э.С. Скорняков, А.Н. Коробочка, В.Б. Рудасев // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2009. – №4. – С.122–126.
6. Сасов, О.О. Дослідження обсягу виникнення і вторинного використання зношених автомобільних шин [Текст] / О.О. Сасов, О.М. Коробочка, Е.С. Скорняков // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2010. – №6(148). – С.20–24.
7. Соловьёв, Е.М. Переработка и использование отходов шинной промышленности: тем. обзор. [Текст] / Е.М. Соловьёв, Н.Д. Захаров. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1983. – 66 с.
8. Переработка изношенных шин [Текст] / Э.М. Соколов, Б.Н. Оладов, Н.И. Володин, В.А. Тимофеев, Н.М. Качурин, В.А. Иваницкий. – Тула: Тульск. ГУ, 1999. – 115 с.
9. Переработка изношенных шин: монография [Текст] / Э.М. Соколов и др. – 1999. - 134 с.
10. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Різання металів та ріжучий інструмент Посібник для машинобудівних технікумів. М. «Машинобудування», 1976 ст 99.
11. Резание материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / авт. :Ю. И. Гордеев, Е. Г. Зеленкова; ст -17.

УДК 537. 622

**Л.В. Ящинський**, к.ф.-м.н., **Д.А. Захарчук**, к.ф.-м.н., **Ю.В. Коваль**, к.ф.-м.н.  
Луцький національний технічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ ПАРАМАГНІТНИХ СПОЛУК  
МЕТОДОМ ЗВАЖУВАННЯ У ЗОВНІШНЬОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ**

*У роботі представлено експериментальний пристрій для визначення магнітної сприйнятливості твердих солей парамагнітних сполук при різних температурах. Досліджено вплив температури парамагнетиків на значення їх магнітної сприйнятливості і одержано величини  $\chi_m$  в температурному інтервалі  $0 - 100^{\circ}\text{C}$ . Результати експериментів показали пропорційність значень магнітної сприйнятливості для сполук  $\text{CoCl}_2$  і  $\text{MnCl}_2$  до величини  $T^{-1}$ , що задовольняє класичну залежність  $\chi_m = f(T)$  для парамагнетиків. Добре узгодження експериментальних результатів з табличними даними про магнітну сприйнятливість досліджуваних речовин при  $0^{\circ}\text{C}$  підтверджує коректність використаної методики для визначення магнітної сприйнятливості парамагнетиків при застосуванні їх у відповідних магнітних пристроях.*

**Ключові слова:** магніт, парамагнетик, магнітна сприйнятливість, зважування.

*В работе представлено экспериментальное устройство для определения магнитной восприимчивости твердых солей парамагнитных соединений при различных температурах. Исследовано влияние температуры парамагнетиков на значение их магнитной восприимчивости и получено величины  $\chi_m$  в температурном интервале  $0 - 100^{\circ}\text{C}$ . Результаты экспериментов показали пропорциональность значений магнитной восприимчивости для соединений  $\text{CoCl}_2$  и  $\text{MnCl}_2$  до величины  $T^{-1}$ , что удовлетворяет классическую зависимость  $\chi_m = f(T)$  для парамагнетиков. Хорошее согласование экспериментальных результатов с табличными данными о магнитной восприимчивости исследуемых веществ при  $0^{\circ}\text{C}$  подтверждает корректность использованной*

методики для определения магнитной восприимчивости парамагнетиков при применении их в соответствующих магнитных устройствах.

**Ключевые слова:** магнит, парамагнетик, магнитная восприимчивость, взвешивания.

The paper presents an experimental device for determining the magnetic susceptibility of solid salts of paramagnetic compounds at different temperatures. The effect of temperature on paramagnets value of the magnetic susceptibility and the value obtained  $\chi_m$  in the temperature range 0 - 100°C. The experimental results showed proportionality magnetic susceptibility values for the compounds  $\text{CoCl}_2$  and  $\text{MnCl}_2$  to a value  $T^{-1}$  that satisfies the classical dependence  $\chi_m = f(T)$  for paramagnets. Good agreement with experimental results tabulated data on the magnetic susceptibility of these substances in the 0°C confirms the correctness of the methodology used to determine the magnetic susceptibility paramagnets in applying them to the respective magnetic devices.

**Keywords:** magnet, paramagnetic, magnetic susceptibility, weighing.

Матеріали з наперед передбачуваними магнітними властивостями необхідні для вдосконалення управління і контролю термоядерного синтезу, для конструювання датчиків струму і магнітного поля, для нових технологій запису інформації. Особливою увагою сьогодні користуються сипучі магнітні матеріали, що дозволяє використовувати їх в різних технологічних конфігураціях.

Вивчення парамагнітних властивостей речовин дає можливість визначити магнітні властивості їх атомів та молекул, одержувати інформацію про структуру та фізичні властивості твердих розчинів хімічних сполук [1,2].

Виходячи з вищесказаного, було цікаво провести експерименти з визначення залежності магнітної сприйнятливості парамагнітних речовин від температури парамагнетика. Тим більше, що за останніми дослідженнями не для всіх парамагнетиків залежність магнітної сприйнятливості від температури має вигляд:

$$\chi_m = \frac{n_0 P_m^2 \mu_0}{3kT}.$$

У парамагнітних речовинах магнітні моменти окремих атомів, що мають неспарені електрони, орієнтовані довільно. Їх впорядкування проходить лише під дією зовнішнього магнітного поля.

Такому впорядкованому розміщенню магнітних моментів атома заважає хаотичний тепловий рух атомів чи молекул речовини. Враховуючи руйнівну дію теплового руху можна визначити середнє значення проекції магнітного моменту атомів на напрямок зовнішнього поля. Ця проекція буде визначати наявність відмінного від нуля магнітного моменту одиниці об'єму парамагнітної речовини.

При температурах близьких до абсолютного нуля, моменти атомів парамагнетиків встановлюються паралельно магнітному полю, і в речовині виникає максимальний магнітний момент.

Для характеристики намагнічування речовин вводять фізичну величину, яку називають інтенсивністю намагнічування. Вектором інтенсивності намагнічування, або намагніченістю  $\vec{J}$ , називають границю відношення магнітного моменту деякого об'єму речовини до величини цього об'єму, коли даний об'єм прямує до нуля:

$$\vec{J} = \lim_{V \rightarrow 0} \left( \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \vec{P}_{mi} \right).$$

Для однорідного магнетика, що перебуває в однорідному магнітному полі:

$$\vec{J} = \chi_m \vec{H}.$$

Величину  $\chi_m$  називають магнітною сприйнятливістю речовини, яка характеризує магнітні властивості цієї речовини.

Якщо векторна сума орбітальних магнітних моментів усіх електронів атома (або молекули) без дії зовнішнього магнітного поля не дорівнює нулю, то атом в цілому має деякий магнітний момент  $\vec{P}_m$ . Такі атоми (молекули) називають парамагнітними, а речовини, що складаються з них - парамагнетиками.

За теорією П. Ланжевена магнітна сприйнятливість парамагнітної речовини визначається виразом:

$$\chi_m = \frac{n_0 P_m^2 \mu_0}{3kT}.$$

Магнітна сприйнятливість парамагнетиків  $\chi_m > 0$ , і її значення при кімнатних температурах лежать у межах від  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$ .

Намагнічування парамагнетика відбувається в напрямі, який збігається з напрямом вектора  $\vec{H}$  зовнішнього магнітного поля.

Об'єм парамагнетика циліндричної форми можна ототожнювати з із замкнутим електричним контуром по якому проходить струм. Це пов'язано з тим, що елементарні струми кожного атома чи молекули парамагнетика у магнітному полі орієнтовані однаково, так що площини цих струмів перпендикулярні до напрямку зовнішнього магнітного поля. При цьому у всьому об'ємі парамагнетика, крім зовнішньої поверхні, елементарні струми будуть компенсувати один одного. Елементи струмів, що виходять на поверхню, в сумі утворять поверхневий замкнений контур із струмом.

Сила, що діє на замкнутий контур із струмом, який знаходиться в неоднорідному постійному магнітному полі, може бути представлена співвідношенням:

$$F = P_m \mu \mu_0 \frac{dH}{dr}.$$

Якщо циліндричний зразок парамагнетика має переріз  $S$  і висоту  $dr$ , то магнітний момент струму такого циліндра можна визначити за співвідношенням:

$$dP_m = j S dr,$$

де  $j$  - абсолютне значення вектора намагнічування розглядуваного зразка, яке можна знайти за формулою:

$$j = \chi_m H,$$

де  $\chi_m$  - об'ємна магнітна сприйнятливості парамагнетика.

Виходячи з вище описаного отримаємо вираз для магнітного моменту даного об'єму зразка:

$$dP_m = \chi_m H S dr.$$

Підставляючи одержаний вираз у формулу для сила, що діє на замкнений контур із струмом, одержимо співвідношення для визначення сили, яка діє на розглядуваний нами елементарний об'єм парамагнітного зразка в неоднорідному магнітному полі:

$$dF = \mu \mu_0 \chi_m S H dH.$$

Сила, що діє на циліндричний об'єм зразка довжиною рівною протяжності неоднорідного магнітного поля від його максимального значення до нуля, може бути знайдена інтегруванням даного виразу в межах від нуля до максимального значення напруженості  $H_{\max}$ :

$$F = \mu \mu_0 \chi_m S \int_0^{H_{\max}} H dH,$$

тоді

$$F = \mu \mu_0 \chi_m S \frac{H_{\max}^2}{2}.$$

При цьому напрям сили, що діє на вищезгаданий об'єм зразка, за напрямом збігається з градієнтом напруженості магнітного поля.

Для визначення магнітної сприйнятливості твердих парамагнітних солей нами був використаний наступний експериментальний пристрій (рис.1). Кварцову циліндричну запаяну колбу (К) внутрішньою площею основи  $S=0.00015 \text{ м}^2$  (радіус рівний 7 мм) і довжиною 0,035 м з парамагнітною сіллю на довгій нерозтяжній нитці підвішували до пружини, коефіцієнт жорсткості якої наперед відомий. Колбу з парамагнітною сіллю поміщали у посудину (П) з водою, температуру якої можна було підтримувати сталою за допомогою нагрівника і контролювати за допомогою термопар, під'єднаних до вимірювального пристрою. Посудина із колбою перебувала у зовнішньому магнітному неоднорідному полі, створеному електромагнітом (N-S). Дію магнітного поля на зразок парамагнетика фіксували за зміщенням стрілки покажчика пружини, з допомогою мікроскопа (для збільшення точності вимірювань). Ціна поділки використовуваного мікроскопа становила 0,02 мм.

Сила  $\vec{F}$ , що діє з боку неоднорідного магнітного поля на парамагнітний зразок, розташований вище описаним способом, приводить до розтягу пружини на величину  $h$ . При заданому значенні магнітного поля зміна величини  $h$  буде відбуватись до тих пір, поки сила з боку магнітного поля не зрівноважиться силою пружності.

$$F = F_{np},$$

або:

$$\mu\mu_0\chi_m S \frac{H_{\max}^2}{2} = kh.$$

Враховуючи, що середовищем міжполюсного простору є повітря та вода, для яких  $\mu \approx 1$ , отримаємо остаточну формулу для визначення магнітної сприйнятливості парамагнітної речовини у нашому пристрої:

$$\chi_m = \frac{2kh}{\mu_0 S H_{\max}^2}.$$

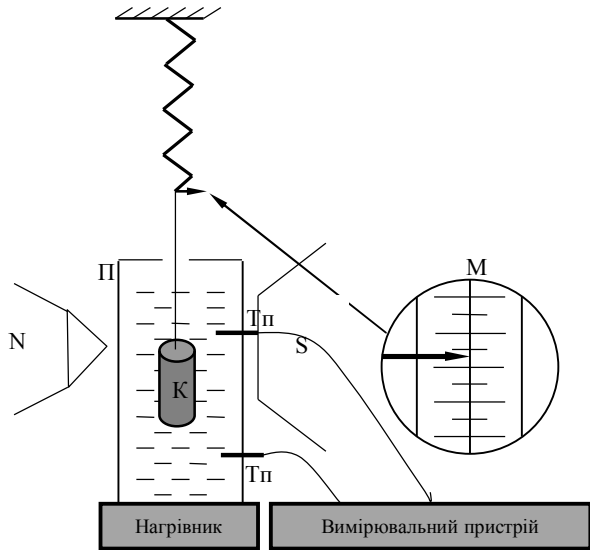


Рис. 1. Схема експериментального пристрою для визначення магнітної сприйнятливості парамагнетиків

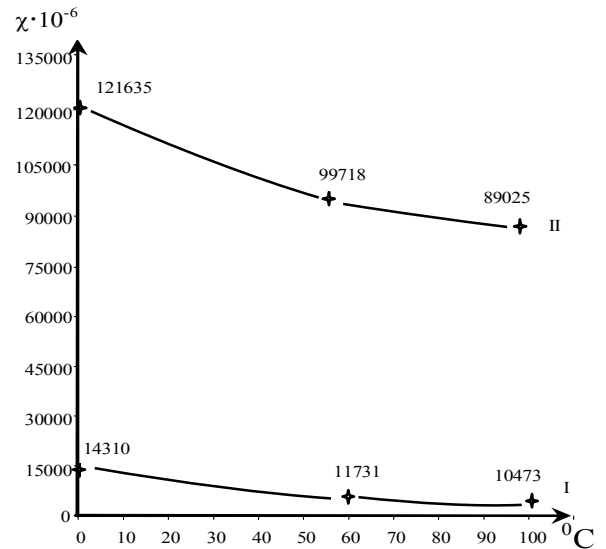


Рис. 2. Залежності  $\chi_m$  від температури парамагнітних сполук: I – для  $MnCl_2$ , II – для  $CoCl_2$

В даній роботі проводились дослідження для визначення магнітної сприйнятливості двох парамагнітних хімічних сполук, магнітна сприйнятливість яких відрізняється на порядок:  $MnCl_2$  і  $CoCl_2$ . Змінюючи величину індукції магнітного поля електромагніту від 0,2(Тл) до 0,5(Тл) для різних температур, одержали експериментальні результати для сполуки  $MnCl_2$ , представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення магнітної сприйнятливості  $MnCl_2$  для різних температур

	В(Тл)	0,2	0,3	0,4	0,5	$\chi_m \cdot 10^{-6}$
0 <sup>0</sup> C (273,15K)	h(мм)	0,72	1,64	2,56	4,46	14310
60 <sup>0</sup> C (333,15K)	h(мм)	0,38	0,88	1,54	2,44	11731
100 <sup>0</sup> C (373,15K)	h(мм)	0,18	0,36	0,68	1,02	10473

Як виявилось, зміна величини магнітного поля, у вище зазначених межах, не приводить до зміни величини магнітної сприйнятливості зразка. Тому в останній колонці таблиці 1 вказані усереднені, по різних величинах магнітного поля, значення величини  $\chi_m$ , розрахованої за вищеописаною експериментальною формулою.

Проведені аналогічні експерименти із сполукою  $CoCl_2$  дали результати, представлені у таблиці 2.

Залежності  $\chi_m$  парамагнітних сполук від температури для  $MnCl_2$  і  $CoCl_2$  представлені на рисунку 2.

Значення магнітної сприйнятливості  $CoCl_2$  для різних температур

	V(Тл)	0,2	0,3	0,4	0,5	$\chi_m \cdot 10^{-6}$
0°C (273,15K)	h(мм)	1,22	2,78	4,86	7,58	121635
60°C (333,15K)	h(мм)	0,72	1,56	2,78	4,34	99718
100°C (373,15K)	h(мм)	0,34	0,68	1,20	1,86	89025

Отже, у даній роботі на основі методу зважування парамагнетиків у зовнішньому магнітному полі одержано значення  $\chi_m$  для твердих сполук при 0°C:  $\chi_m = 121635 \cdot 10^{-6}$  для  $CoCl_2$  і  $\chi_m = 14310 \cdot 10^{-6}$  для  $MnCl_2$ , що добре узгоджуються з довідковими даними [3,4].

За вище описану методикою з достатньою точністю визначено магнітну сприйнятливість парамагнетиків при різних температурах.

Добре узгодження одержаних експериментальних результатів з довідковими значеннями підтверджує доцільність використання даної методики для швидкого визначення магнітної сприйнятливості парамагнетиків з різною температурою при використанні їх у відповідних магнітних пристроях.

#### Інформаційні джерела

1. Сніжної Г.В. Автоматизована установка для визначення магнітної сприйнятливості криць та стопів / Г.В. Сніжної, Є.Л. Жавжаров // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2012. – № 49. – С. 136-141.
2. Дружинін А.О. Магнітна сприйнятливість та намагніченість ниткоподібних кристалів Si-Ge / Дружинін А.О., Островський І.П., Когут Ю.Р. // Національний університет “Львівська політехніка”, лабораторія сенсорної електроніки та лазерної технології НДЦ “Кристал”. – 2007. – С. 105 – 110.
3. Дубровский И., Егоров Б., Рябошапка К. Справочник по физике. – Киев: Наукова думка, 1986. – 560с.
4. Журавлёв Л.Г., Филатов В.И. Физические методы исследования металлов и сплавов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 157 с.

УДК 616-71

Мельник С.А., к.б.н., Казановська В.В.

Луцький національний технічний університет

### ОСНОВНІ ЕТАПИ РОЗВИТКУ ДОПЛЕРІВСЬКИХ МЕТОДІВ ТА ПРИЛАДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ГЕМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

*В даній роботі розглянуті основні принципи роботи та основні етапи розвитку приладів з урахуванням доплерівського ефекту для контролю гемодинамічних процесів.*

**Ключові слова:** *ультразвукове дослідження, ефект Доплера, кровоток, гемодинамічні процеси.*

*В данной статье рассмотрены основные принципы работы и основные этапы развития приборов с учетом доплеровского эффекта при контроле гемодинамических процессов.*

**Ключевые слова:** *ультразвуковое обследование, эффект Доплера, кровоток, гемодинамические процессы.*

*In this paper the basic principles and main stages of development of devices based Doppler effect for hemodynamic monitoring processes.*

**Keywords:** *ultrasound, Doppler effect, blood flow, hemodynamic processes.*

За останні 40 років ультразвукове дослідження стало важливою діагностичною методикою. Його потенціал, як одного з лідерів медичного діагностичного зображення, був започаткований в 1930-х та 1940-х роках, коли Теодор Дуссік та його брат Фрідріх намагалися використати ультразвук для того, щоб діагностувати пухлини мозку. Але тільки в 1970-х роках, роботи цих і багатьох інших піонерів дослідження ультразвуку реально принесли свої плоди. Разом з технологічним вдосконаленням, ультразвук прогресував від великої, громіздкої машини, що виконувала