



### Методика исследования магнитного поля на оси соленоида в лабораторном практикуме по физике

Оксана Михайловна Лелюшкина<sup>1</sup>, Оксана Владимировна Сынашенко<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>oksana.lelyushkina@klgtu.ru,

<sup>2</sup>oksana.synashenko@klgtu.ru

**Аннотация.** Описывается методика исследования магнитного поля на оси кольцевой катушки (соленоида) с применением датчика Холла. Предлагается проведение лабораторного эксперимента на обновлённом стенде, разработанном курсантами Морского института. Характеристики магнитного поля катушки исследованы с использованием современного биполярного полупроводникового датчика Холла SS49E.

**Ключевые слова:** лабораторный стенд, магнитное поле соленоида, постоянная Холла, полупроводниковый датчик Холла.

**Для цитирования:** Лелюшкина, О. М., Сынашенко, О. В. Методика исследования магнитного поля на оси соленоида в лабораторном практикуме по физике // Известия Балтийской государственной академии рыбопромышленного флота. – 2025. – № 4(74). – С. 284–288.

Дисциплина «Физика» играет важную роль в формировании базовых знаний для большинства общепрофессиональных и специальных дисциплин. Поэтому весь учебный процесс должен быть связан с будущей профессиональной деятельностью и способствовать развитию интереса к выбранной специальности. Курсантам Морского института КГТУ необходимо иметь представление о физических полях, окружающих морские суда, о влиянии этих полей на корпус судна и на судовые приборы.

Одним из самых значимых является магнитное поле судна – область пространства, искажённая присутствием или движением судна, в основном из-за его металлической конструкции и намагничивания в магнитном поле Земли. Магнитное поле судна может влиять на работу некоторых судовых систем, например, вызывая девиацию магнитных компасов и сбои в работе чувствительных датчиков. Существуют методы минимизации магнитного поля судна, такие как размагничивание корпуса, применяемое для ослабления его воздействия на окружающие устройства.

Магнитные поля, создаваемые различными источниками, имеют разнообразную конфигурацию [1]. При этом они могут быть как однородными (с постоянными по величине и направлению характеристиками), так и неоднородными [2-5]. Однородность магнитных полей помогает создавать более эффективные и точные технические устройства [2].

Одной из лабораторных работ в рамках физического практикума КГТУ по исследованию магнитного поля является работа «Изучение магнитного поля соленоида с помощью датчика Холла». При проведении лабораторного эксперимента используются следующие приборы и оборудование (рис.1): кассета ФПЭ-04, в состав которой входит соленоид С и шток с закрепленным на конце датчиком Холла ДХ SS49E; источник питания ИП, от которого пропускается ток  $I_d$  через датчик Холла и ток  $I_c$  через соленоид; амперметр для контроля силы тока  $I_c$ ; цифровой вольтметр  $V$  для измерения холловского напряжения  $U_x$ . Параметры установки:  $h_d = 0,05$  мм,  $I_d = 90$  мА,  $N = 2500$ ,  $L = 168$  мм. Электрическая схема лабораторной установки представлена на рисунке 1.

Следует отметить, что в процессе эксплуатации лабораторной установки была проведена модернизация стенда с применением в качестве элемента Холла современного биполярного полупроводникового датчика Холла SS49E. Его отличительной особенностью является срабатывание на оба полюса магнита. Выходной сигнал датчика (холловское напряжение  $U_x$ ) линейно зависит от величины магнитного поля. Согласно этой характеристике датчика, и в отсутствие поля ( $B = 0$ ), холловское напряжение  $U_x$  отлично от 0 (составляет порядка 2,5 В).

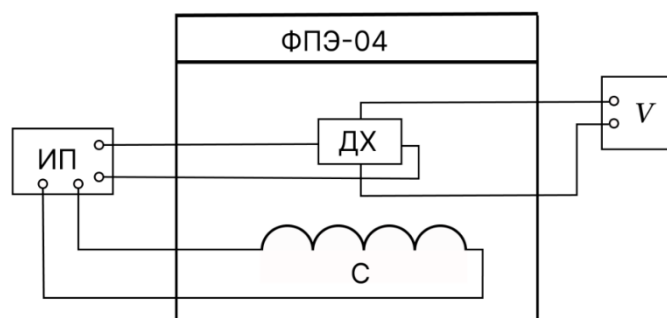


Рис. 1. Электрическая схема установки

При выполнении лабораторной работы курсантам и студентам необходимо выполнить два задания. Первое задание состоит в определении постоянной Холла – количественной характеристики эффекта Холла, явления возникновения поперечной разности потенциалов  $U_x$  (ЭДС Холла) в проводнике с током, помещённом в магнитное поле [1, 6].

ЭДС Холла пропорциональна силе тока  $I_c$ , пропускаемого через соленоид:

$$U_x = \frac{R_x I_d \mu_0 N}{h_d L} \cdot I_c, \quad (1)$$

где  $I_d$  – ток, протекающий через элемент Холла;  $h_d$  – ширина элемента Холла;  $L$  – длина соленоида;  $N$  – число его витков; величина  $R_x = \frac{1}{e \cdot n}$  называется постоянной Холла, которая зависит от концентрации  $n$  носителей тока.

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо поставить шток с датчиком Холла в среднее положение на оси соленоида (координата  $Z = 0$ ). Изменяя силу тока соленоида  $I_c$  в диапазоне от 0,5 А до 1,9 А, студенты измеряют ЭДС Холла  $U_x$  и заполняют таблицу 1.

Таблица 1

**Зависимость ЭДС Холла от тока соленоида  
в среднем положении на оси соленоида (координата  $Z = 0$ )**

| Ток соленоида<br>$I_c, A$ | 0,5   | 0,7   | 0,9   | 1,1   | 1,3   | 1,5   | 1,7   | 1,9   |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ЭДС Холла<br>$U_x, B$     | 2,527 | 2,587 | 2,649 | 2,707 | 2,761 | 2,820 | 2,882 | 2,940 |

По данным таблицы 1 на миллиметровой бумаге или с использованием компьютерных программ строится график зависимости  $U_x = f(I_c)$ , при этом экспериментальные точки аппроксимируются прямой линией. Продлив линию графика до пересечения с осью  $U_x$ , можно определить значение холловского напряжения в отсутствие магнитного поля  $U_{x0}$ , которое используется для определения величины индукции при исследовании магнитного поля на оси соленоида.

По графику  $U_x = f(I_c)$  определяется тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс:

$$tg\alpha = \frac{\Delta(U_x)}{\Delta(I_c)}.$$

Из формулы (1) можно заметить что  $tg\alpha$  наклона графика и есть величина  $\frac{R_x I_d \mu_0 N}{h_d L}$ .



Таким образом, расчётная формула для постоянной Холла:

$$R_x = \frac{L h_d}{\mu_0 N I_d} \cdot \operatorname{tg} \alpha . \quad (2)$$

Оценку абсолютной погрешности постоянной Холла  $\Delta R_x$  можно произвести по формуле:

$$\Delta R_x = \frac{L h_d}{\mu_0 N I_d} \cdot \Delta \operatorname{tg} \alpha ,$$

где  $\Delta \operatorname{tg} \alpha$  – погрешность тангенса угла наклона графика  $U_x = f(I_c)$ .

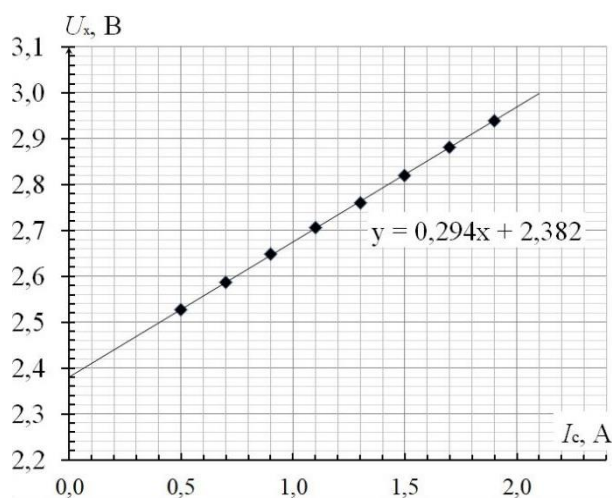


Рис. 2. Экспериментальная зависимость холловского напряжения от силы тока в соленоиде

Второе задание состоит в исследовании зависимости индукции магнитного поля  $B$  от координаты  $Z$  на оси штока соленоида.

После установки величину тока в соленоиде шток выставляется в крайнее положение на оси соленоида («100» по шкале). ЭДС Холла измеряется одновременно с перемещением штока с датчиком Холла по оси соленоида с интервалом 10(20) мм. Пример полученных экспериментальных данных приведён в таблице 2.

Определение величины индукции магнитного поля для каждого положения датчика Холла производится по формуле:

$$B = \frac{(U_x - U_{x0}) h_d}{I_d R_x} . \quad (3)$$

По данным таблицы 2 строится график зависимости  $B = f(Z)$  и проводится анализ полученной зависимости.

Таблица 2

Зависимость индукции магнитного поля  $B$  соленоида  
от положения ( $Z$ ) штока с датчиком Холла на оси соленоида

| Положение датчика $Z$ , мм      | -100 | -90   | -80   | -70   | -60   | -40   | -20   | 0     | 20    | 40    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100  |
|---------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Сила тока соленоида $I_c = 1$ А |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| ЭДС Холла $U_x$ , В             | 2,42 | 2,46  | 2,51  | 2,56  | 2,59  | 2,62  | 2,63  | 2,63  | 2,63  | 2,61  | 2,58  | 2,55  | 2,51  | 2,46  | 2,42 |
| Индукция $B$ , мТл              | 2,18 | 4,80  | 8,00  | 11,01 | 12,99 | 14,98 | 15,62 | 15,81 | 15,49 | 14,72 | 12,86 | 10,94 | 8,00  | 4,80  | 2,05 |
| Сила тока соленоида $I_c = 2$ А |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| ЭДС Холла $U_x$ , В             | 2,49 | 2,57  | 2,67  | 2,75  | 2,81  | 2,87  | 2,90  | 2,91  | 2,90  | 2,89  | 2,83  | 2,78  | 2,69  | 2,59  | 2,50 |
| Индукция $B$ , мТл              | 6,59 | 11,78 | 18,37 | 23,43 | 27,14 | 31,23 | 32,83 | 33,41 | 33,22 | 32,19 | 28,55 | 25,22 | 19,39 | 13,18 | 7,55 |

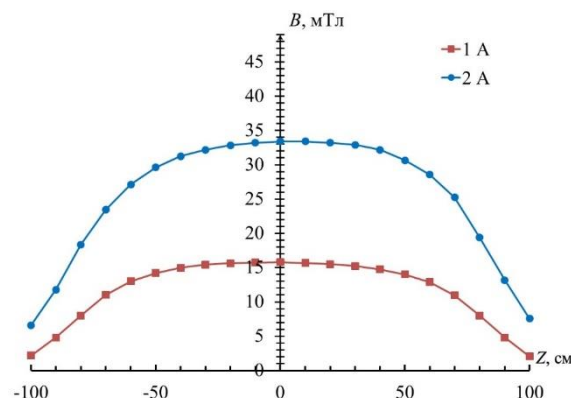


Рис. 2. Экспериментальная зависимость индукции  $B$  магнитного поля от положения штока  $Z$  на оси соленоида для двух значений тока соленоида  $I_c = 1$  А; 2 А

Для значения  $B_0$ , полученного при нулевом положении штока, рассчитывается относительная погрешность измерений  $\varepsilon$  как погрешность косвенных измерений по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta B_0}{B_0} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_x}{U_x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_x}{R_x}\right)^2},$$

и абсолютная погрешность  $\Delta B_0$  по формуле:

$$\Delta B_0 = \varepsilon \cdot B_0$$

где  $\Delta U_x = 0,0005$  В – абсолютная погрешность определения холловского напряжения.

Предложенная методика исследования магнитного поля на оси соленоида в лабораторном практикуме по физике продемонстрировала свою эффективность благодаря использованию современного биполярного полупроводникового датчика Холла SS49E. Она позволила получить достоверные экспериментальные данные с достаточно высокой точностью. По результатам анализа этих данных и графической зависимости  $B = f(Z)$  можно оценить конфигурацию неоднородного магнитного поля на оси соленоида.



Следует отметить, что выполнение лабораторной работы по данной методике стимулирует интерес курсантов к дальнейшему изучению магнитного поля, его свойств и влияния на навигационные приборы и судовые системы, что имеет практическое значение для морской инженерии.

#### Список источников

1. Трофимова, Т. И. Физика : учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Т. И. Трофимова. – Москва : Академия, 2013. – 352 с.
2. Ломаев, Г. В. Исследование соленоида как источника однородного магнитного поля в магнито-биологических опытах / Г. В. Ломаев, М. С. Емельянова // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – Т. 18. – № 4. – С. 47–53.
3. Слесарев, Ю. Н. Исследование магнитных полей постоянных магнитов цилиндрической формы и соленоидов и сравнение полученных результатов / Ю. Н. Слесарев, А. А. Воронцов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – № 6 (34). – С. 110–115.
4. Воронцов, А. А. Исследование проекции на ось OZ напряжённости магнитного поля соленоида в конструкциях магнитоотрицательных преобразователей угловых перемещений / А. А. Воронцов, А. В. Назаренко // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. – 2020. – № 1(7). – С. 206–211.
5. Новиков, С. М. Виртуальный лабораторный стенд по физике «Исследование магнитного поля соленоида и кольцевого проводника с током» / С. М. Новиков, П. О. Терешко // Заметки учёного. – 2023. – № 7. – С. 192–196.
6. Белобородова, М. Е. Методика проведения физического практикума на примере лабораторной работы «Изучение эффекта Холла в полупроводниках» / М. Е. Белобородова, Б. Д. Юдин // Преподаватель XXI век. – 2016. – № 4-1. – С. 260–266.

#### Информация об авторах

О. М. Лелюшкина – старший преподаватель кафедры физики;  
О. В. Сынашенко – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики.

Статья поступила в редакцию 08.10.2025; одобрена после рецензирования 10.11.2025; принята к публикации 17.11.2025.