

СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ У ДОСЛІДНИЦЬКИХ ЗАДАЧАХ

Р. М. Балабай, Я. В. Грицай*

*Криворізький державний педагогічний університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

Анотація. Оскільки фізика є експериментальною наукою, важливо у процесі її навчання забезпечити можливість дослідним шляхом вивчати закономірності явищ природи. Фізична задача є ефективним засобом навчання фізиці, тому що вона сприяє формуванню багатьох особистісних якостей і компетентностей учнів.

Метою цієї роботи було розроблення авторської дослідницької задачі для гурткової роботи у старшій школі на тему «Вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою ефекту Холла» та розкриття особливості її використання.

Під час роботи були проведені досліді з цифровим датчиком Холла (серія SS41F): розглянута специфікація цифрового датчика, його принцип роботи і структурна схема, поведінка датчика за відсутності магнітного поля та за його наявності.

Цифровий датчик Холла може демонструвати відсутність або наявність магнітного поля. Він як «ключ» спрацьовує залежно від напрямку магнітного поля. За одного напрямку було зафіксовано «замикання ключа-датчика», а в разі зміни полярності — «розмикання».

У процесі виконання запропонованої дослідницької задачі учні навчаються використовувати різноманітні прилади для вимірювання фізичних величин, що дасть змогу ефективно засвоїти певні розділи фізики та набуті вміння й навички використання різноманітних фізичних приладів.

Ключові слова: дослідницькі задачі, провідник із струмом, магнітне поле, ефект Холла, датчик електрорушійної сили Холла.

Вступ. Фізика є базою інформаційної і технічної освіти й основою науково-технічного прогресу. До об'єктів фізичних досліджень відносять механічні, теплові, електричні й оптичні явища, процеси, що відбуваються на Землі та в її надрах, явища Всесвіту і властивості живих організмів. Фізика — наука експериментальна, тому так важливо у процесі її навчання забезпечити можливість дослідним шляхом вивчати закономірності явищ природи. Під час вивчення фізики встановлюється зв'язок між явищами і властивостями фізичних тіл.

Чим повніше й наочніше буде розкритий перед учнями цей зв'язок, тим краще вони будуть розуміти ці явища.

Фізична задача є ефективним засобом навчання фізиці, що доведено теоретично й підтверджено практикою [4, 10, 11, 13]. Рішення фізичних завдань сприяє формуванню багатьох особистісних якостей і компетентностей учнів, а саме: розвитку практичних умінь; логічного мислення; уміння оцінювати явища; висувати гіпотези та розвитку креативності. Під дослідницькими задачами розуміються творчі завдання, у процесі виконання яких проводяться теоретичні й експериментальні дослідження проблеми [1, 6, 8, 9, 12]. Рішення дослідницьких завдань сприяє виробленню в учнів уміння підходити до завдання, як до невеликого дослідження, що приводить до формуванню навичок дослідницької діяльності. Дослідницькі задачі є не лише основою, фундаментом для вивчення фізики, але й цікавою та новою сферою, у якій дитина може себе реалізувати. Тому слід підбирати такі досліди чи експерименти, які спонукають учня творчо мислити, пробуджують у дитини допитливість і бажання дізнатися «Чому це відбувається?». Хороша дослідна задача для учнів — це таке завдання, у якому є природний параметр, за яким можна спостерігати в дослідженні. Отже, у кожен момент часу учень самостійно може зрозуміти, що йому необхідно робити далі: скласти схему та виконати вимірювання певних фізичних величин, обробити результати, враховуючи похибки вимірювань.

Мета — авторська розробка дослідницької задачі для гурткової роботи (за сприятливих умов — класної роботи) у старшій школі на тему «Вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою ефекту Холла» від постановки завдань дослідження до аналізу його результатів.

Матеріали та методи дослідження. Матеріалом досліджень слугували наукові публікації, навчальний набір ЕСФЕ-2, датчик SS41f, мілівольтметр, міліамперметр і змінний струм. Використовували методи експерименту, опису, аналізу та синтезу.

Методична розробка дослідницької задачі на тему «Вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою ефекту Холла». *Елементарна теорія ефекту Холла.* Електромагнітне поле — особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між електрично зарядженими частинками. Воно складається з двох окремих полів — електричного та магнітного. Магнітне поле допомогло людству перейти в нову технологічну епоху. Робота всіх сучасних гаджетів залежить від нього. Теоретична відсутність магнітного

поля призвела б до занепаду цивілізації та зробила б неможливим життя на Землі через сонячну радіацію. У шкільному курсі фізики явища пов'язані з магнітним полем вивчаються в 11 класі у розділі «Електродинаміка» [2].

Явище, яке полягало у виникненні електрорушійної сили в результаті викривлення шляху носіїв струму в металах, які знаходились в магнітному полі, було відкрито в 1879 році американським фізиком Холлом. Це явище впродовж багатьох років не грало в науці значної ролі. І тільки з розвитком фізики твердого тіла й особливо фізики напівпровідників значення ефекту Холла різко зросло. Явище, яке відкрив американський фізик Едвін Герберт Холл, полягає в тому, що в провіднику зі струмом, поміщеному в магнітне поле, яке перпендикулярне напрямку струму, виникає електричне поле в напрямку, перпендикулярному напрямкам струму та магнітного поля [5]. Наведемо елементарну теорію ефекту Холла. Для цього розглянемо зразок напівпровідника у вигляді прямокутного паралелепіпеда (рис. 1).

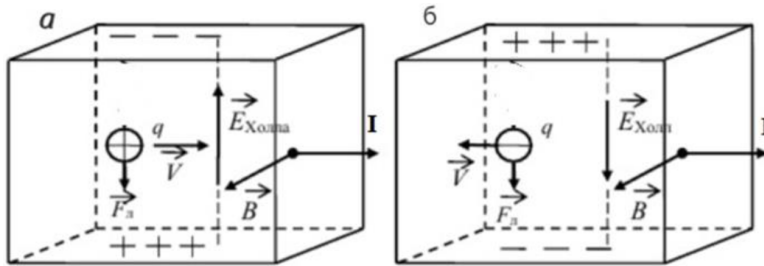


Рис. 1. Відхилення а) дірок і б) електронів, що рухаються в магнітному полі, в ефекті Холла
Figure 1. Deviation of a) holes and b) electrons moving in a magnetic field in the Hall effect

Нехай струм протікає зліва направо. Якщо струм створюється дірками, то швидкість дрейфу (рух носіїв заряду під дією електричного поля) має той же напрямок, що і струм I ; якщо ж електронами, то направлена в протилежну сторону. Слід зазначити, що дрейфова швидкість — це середня швидкість руху носіїв заряду, спрямованого зовнішнім електричним полем. Помістимо напівпровідник у зовнішнє магнітне поле так, щоб його індукція \vec{B} була спрямована перпендикулярно струму. Сила Лоренца \vec{F}_L :

$$\vec{F}_L = \pm e \left[\vec{v}_{др} \times \vec{B} \right], \quad (1)$$

як результат добутку векторів, буде спрямована вниз як для дірок, так і для електронів (див. рис. 1). Під дією цієї сили дірки в акцепторному напівпровіднику (рис. 1.а) й електрони в донорному напівпровіднику (рис. 1.б) будуть відтиснені до нижньої поверхні зразка, унаслідок чого на верхній поверхні виникне їх дефіцит, що обумовить протилежний за знаком заряд щодо заряду на нижній поверхні. Отже, у напівпровіднику p -типу нижня грань заряджається позитивно, а верхня грань — негативно, і виникає холлівське електричне поле $\vec{E}_{Холла}$, спрямоване від низу до верху. У напівпровіднику n -типу нижня грань (за того ж напрямку струму) заряджається негативно, верхня — позитивно, і холлівське електричне поле напрямлене зверху вниз. Отже, у результаті розділення зарядів з'являється електричне поле напруженістю $\vec{E}_{Холла}$ й електрорушійною силою (ЕРС) $e\vec{E}_{Холла}$. На цьому ефекті заснована дія електронних пристроїв — датчиків Холла, призначених для вимірювання напруженості (індукції) магнітного поля.

Датчики ЕРС Холла. Датчики ЕРС Холла — елементи автоматики, радіоелектроніки та вимірювальної техніки, що використовуються як вимірювальні перетворювачі, дії яких засновані на ефекті Холла. Вони є тонкою прямокутною пластиною (площа кілька мм²) або плівкою, виготовленою з напівпровідника (Si, Ge, InSb, InAs), мають 4 електроди для підведення струму й вимірювання ЕРС Холла. Щоб уникнути механічних пошкоджень, пластинки монтують (плівку наплюють у вакуумі) на міцній підкладці з діелектрика (слюди, кераміки). Для отримання найбільшого ефекту товщина пластини (плівки) робиться меншою. За допомогою датчика ЕРС Холла можна вимірювати будь-яку фізичну величину, яка однозначно пов'язана з магнітним полем, зокрема можна вимірювати силу струму, оскільки навколо провідника зі струмом утворюється магнітне поле [3, 7, 11]. Датчики Холла є основою багатьох інших типів датчиків, таких як датчики лінійного або кутового переміщення, датчики магнітного поля, датчики струму, датчики витрат та інші. Зручність безконтактного спрацьовування (повна відсутність механічного зносу), низька вартість, простота використання роблять їх незамінними у приладобудуванні, автомобільній, авіаційній та інших галузях промисловості.

Аналогові датчики Холла є мікросхемами з аналоговими напругами на виході. Мікросхеми з аналоговим виходом поділяються на

дві підгрупи: уніполярні та біполярні. Уніполярний перемикач спрацьовує тільки за наявності магнітного поля однієї полярності і гарантує вимкнений стан за відсутності магнітного поля; магнітне поле протилежної полярності не чинить на нього ніякого впливу. Біполярний тригер, навпаки, реагує на обидві полярності: включається за умови наближення північного або південного полюсів магніту і вимикається лише в тому випадку, якщо поле з протилежним знаком досягне певного рівня. Такі перемикачі переходять у включений стан за наявності магнітного поля, а вимикаються за відсутності поля або у присутності поля з протилежним знаком.

Цифрові датчики Холла видають інформацію про присутність або відсутність магнітного поля. Якщо індукція досягає деякого порога — датчик видає присутність поля у вигляді деякої логічної одиниці, якщо поріг не досягнутий — датчик видає логічний нуль. Тобто за слабкої індукції та відповідно чутливості датчика присутність поля може бути не зафіксована.

Досліди з цифровим датчиком Холла серії SS41F. Були проведені досліді з цифровим датчиком Холла (серія SS41F). Розглянемо специфікацію цього датчика (табл. 1).

Таблиця 1. Специфікація цифрового датчика Холла
Table 1. Digital Hall sensor specification

Серія	SS41F
Тип вихідного сигналу	Цифровий
Напруга живлення, В	4,5...24
Вихідна напруга, В	0,4
Струм живлення, мА	15
Вихідний струм, мА	10–20
Допустима температура,	-40...+150
Діапазон вимірювання, Гаус	-40...+40

Розташування та характеристики ніжок досліджуваного датчика наведені на рис. 2. Датчик SS41f є біполярним, його вихід має два стани — вихід відкривається за наявності магнітного поля одного полюса і закривається магнітним полем другого полюса. Ніжка «+» приймає напругу джерела струму; «-» грає подвійну роль:

- 1) використовується за умови подачі напруги живлення від джерела;
- 2) використовується для контролю вихідної напруги на вольтметрі.

Ніжка «вихід» (“out”) використовується для контролю вихідної напруги.

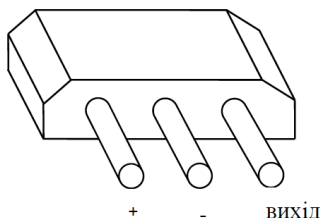


Рис. 2. Схема ніжок датчика Холла серії SS41F

Figure 2. Scheme of legs of the Hall sensor of the SS41F series

Щоб зрозуміти як працює датчик, наведемо його структурну схему на рис. 3 та рис. 4.

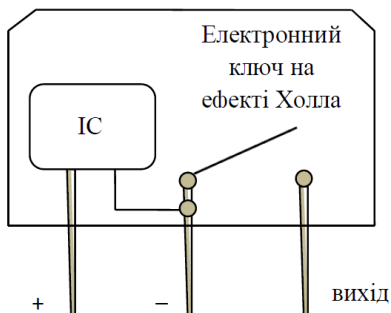


Рис. 3. Структурна схема датчика Холла серії SS41F

Figure 3. Block diagram of the Hall sensor of the SS41F series

Датчик працює як «ключ» (перемикач). Якщо піднести магніти з двох боків датчика, то за одного розташування полюсів магнітів, перемикач — закритий, а під час зміни магнітів місцями (тобто зміни розташування полюсів) — перемикач відкритий. Коли на ніжку «+» відносно ніжки «-» подавати напругу, то електрони в матеріалі датчика рухаються по прямій лінії. Під впливом зовнішнього магнітного поля негативно заряджені електрони будуть відхилятися до одного боку датчика, а позитивно заряджені дірки до іншого.

Електрична схема для дослідження поведінки датчика Холла в магнітному полі показана на рис. 5. Ця схема складалася з джерела

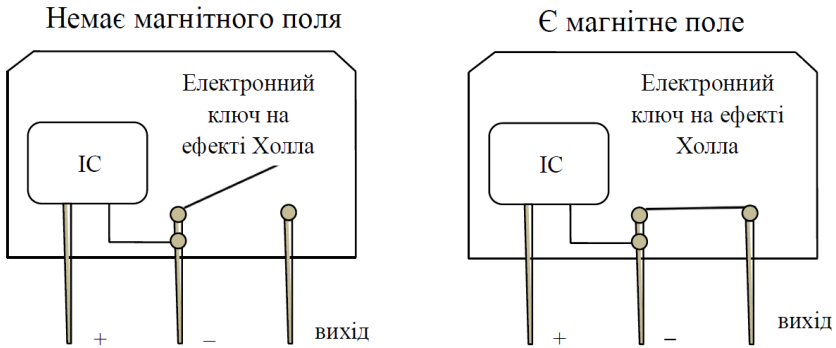


Рис. 4. Положення «електронного ключа» відносно присутності магнітного поля

Figure 4. The position of the “electronic key” relative to the presence of a magnetic field

ЕРС, мілівольметра, міліамперметра, змінного опору та датчика Холла. Від джерела подавалася постійна напруга на ніжки датчика, які помічені «+» та «-». Ніжки «вихід» і «-» використовували для контролю вихідної напруги на мілівольтметрі. Як міліамперметр і мілівольтметр використовували мультиметри.

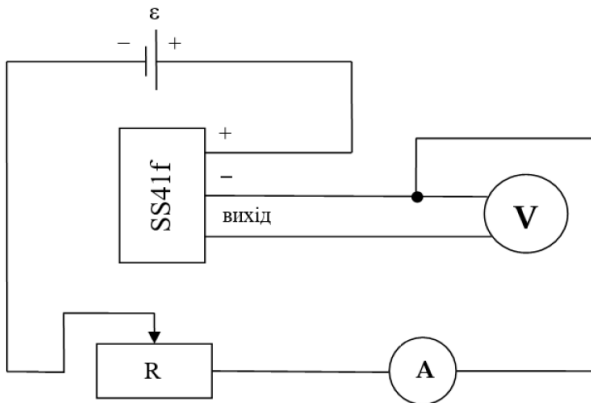


Рис. 5. Принципова схема дослідження цифрового датчика, що працює на ефекті Холла

Figure 5. Circuit diagram of the study of a digital sensor operating on the Hall effect

За відсутності магнітного поля під час подачі від джерела на датчик напруги у 5 В, отримували покази міліамперметра 2,2 мА (зі специфікацій відомо, що робоча сила вихідного струму датчика повинна бути в діапазоні 10–20 мА) та значення вихідної напруги у 0,4 мВ, що показано на рис. 6.

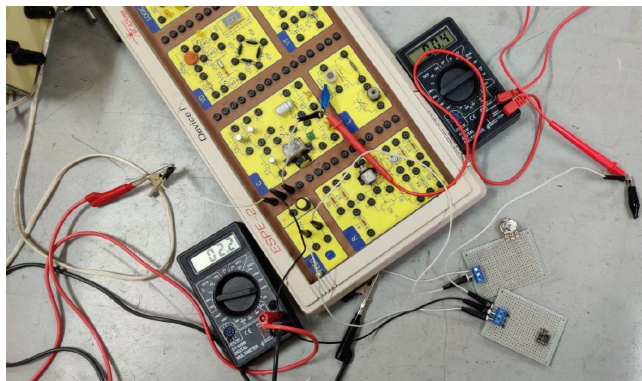


Рис. 6. Установка для вивчення ефекту Холла з використанням цифрового датчика SS41f — покази приладів за відсутності магнітного поля

Figure 6. Installation for studying the Hall effect using a digital sensor SS41f — instrument readings in the absence of a magnetic field

Далі було з'ясовано як поводить себе датчик Холла в магнітному полі (рис. 7). Поле створювалось двома круглими постійними магнітами, між якими був розміщений датчик. Присутність магнітного поля перевело його в інший робочий стан, покази контролюючих приладів при цьому: мілівольтметра 2,1 мВ, міліамперметра 2,0 мА — ця ситуація зафіксована на рис. 7.

За умови зміни напрямку напруженості магнітного поля електронний перемикач переводиться у «відкрите положення»: покази мілівольтметра при цьому 0 В, міліамперметра 2,0 мА (рис. 8).

Як зазначалось раніше, цей цифровий датчик Холла може демонструвати відсутність або наявність магнітного поля. Отже, ми зафіксували той факт, що датчик Холла як «ключ» спрацьовує залежно від напрямку магнітного поля. За одного напрямку ми фіксували «замикання ключа-датчика», а за зміни полярності — «розмикання».

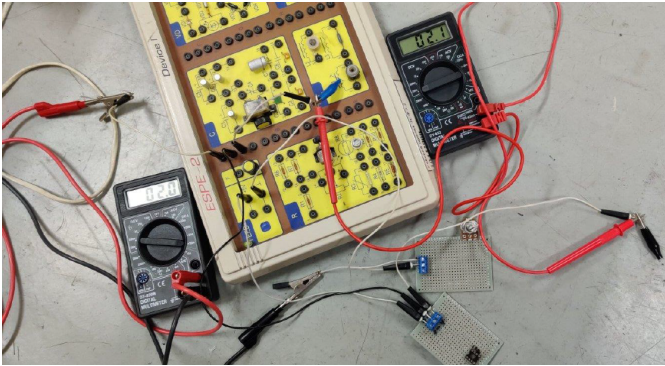


Рис. 7. Установка з цифровим датчиком Холла — покази приладів за присутності магнітного поля
Figure 7. Installation with a digital Hall sensor — instrument readings in the presence of a magnetic field

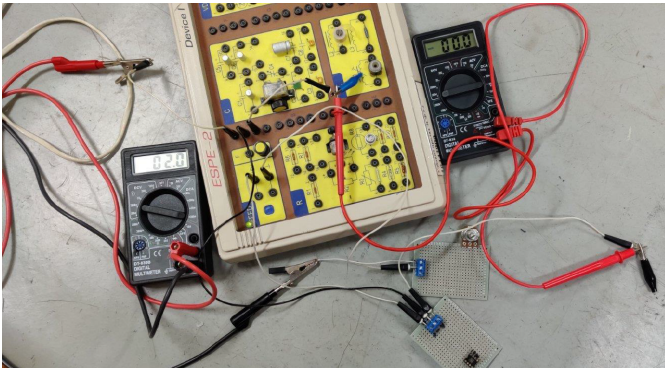


Рис. 8. Установка з цифровим датчиком Холла — покази приладів за зміни напрямку магнітного поля
Figure 8. Installation with a digital Hall sensor — instrument readings when changing the direction of the magnetic field

Висновки. Представлена авторська методична розробка дослідницької задачі для гурткової роботи у старшій школі на тему «Вимірювання напруженості магнітного поля за допомогою ефекту Холла», мета якої проаналізувати ефект Холла в напівпровідниках і його використання в сучасних пристроях.

Запропоновані та виконані порівняно прості дослідні завдання зі звертанням уваги на правильне виконання процесу вимірювання.

Під час виконання запропонованої дослідницької задачі учні навчаються використовувати різноманітні прилади для вимірювання фізичних величин, що дає змогу ефективно засвоїти певні розділи фізики та набутися вміння й навички використання різноманітних фізичних приладів.

References

1. Bilous, S. YU. (2004). *Yak rozvynuty yakosti doslidnyka, abo metodyka doslidnyts'kykh lantsyuzhkyv* [How to develop the qualities of a researcher, or the methods of research chains]. *Osnova*. (in Ukrainian).
2. Liashenko, O. I., Bugailov, O. I., Korshak, Ye. V., Martiniuk, M. T., & Shut, M. I. (2005). *Fizyka. Prohramy dlya zahal'noosvitnykh navchal'nykh zakladiv 7–12 klasy* [Physics. Programs for secondary schools 7–12 grades]. Irpin. (in Ukrainian).
3. Manego, S. A., Bumbay, Yu. A., & Chernyi, V. V. (2016). *Effekt Kholla: uch.-met. pos.* [Hall effect: educational and methodological guide]. Belarusian National Technical University. (in Belarusian).
4. Rybalko, A. V. (2004). *Metodolohichnyy pidkhid do klasyfikatsiyi doslidnyts'kykh zadach za yikh dydaktychnymy tsilyamy* [Methodological approach to the research tasks' classification according to their didactic goals]. *Visnyk Zhytomyrs'koho pedahohichnoho universytetu* [Bulletin of Zhytomyr Pedagogical University], 14, 91–94. (in Ukrainian).
5. Shevchenko, Yu. O. (2010). *Osnovy fiziki tverdogo tela: uch. pos* [Fundamentals of Solid State Physics: educational guide]. St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics. (in Russian).
6. Volynets, I. M. (2016). *Demonstratsiynyy eksperyment* [Demonstrative experiment]. *Fizyka v shkolakh Ukrayiny* [Physics in Ukrainian schools], 15–16, 30–39. (in Ukrainian).
7. Volovich, G. I. (2004). *Integral'nyye datchiki Kholla* [Hall effect sensors]. *Sovremennaya elektronika* [Modern electronics], 12, 26–31. (in Russian).
8. Galatiuk, Yu. M. (2007). *Doslidnyts'ka robota uchniv z fizyky* [Research work of students in physics]. *Osnova: "Triad+"*. (in Ukrainian).

9. Galatiuk, Yu. M., Rybalko, A. V., & Tischuk, V. I. (2007). Doslidnyts'ki zadachi z fizyky [Research exercises in physics]. *Osnova*. (in Ukrainian).
10. Gunko, L. M. (2015). Doslidy ta sposterezhennya u domashnikh zavdanniyakh iz fizyky [Experiments and observations in homework in physics]. *Physics*, 2, 27–31. (in Ukrainian).
11. Zadnipryanets, I. I. (2011). Suchasni tekhnolohiyi u vykladanni fizyky [Modern technologies in teaching physics]. Kyiv: Shkil'nyy svit. (in Ukrainian).
12. Zadnipryanets, I. I. (2014). Tekhnolohichnyy aspekt doslidnyts'koyi ta proektnoyi diyal'nosti v suchasniy seredniy shkoli [Technological aspect of research and project activities in modern middle school]. *Fizychna hazeta [Physical newspaper]*, 9, 2–5. (in Ukrainian).
13. Losyak, H. (2005). Fizychnyy eksperyment — klyuch do piznannya fizyky [Physical experiment — the key to learning physics]. *Physics*, 1. (in Ukrainian).

FORMATION OF PHYSICAL COMPETENCIES OF STUDENTS IN RESEARCH TASKS

R. M. Balabay, Ya. V. Gritsay

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. Because physics is an experimental science, it is important in its teaching to provide an opportunity to experimentally study the patterns of natural phenomena. Physical task is an effective means of teaching physics. Solving physical problems contributes to the formation of many personal qualities and competencies of students: the development of practical skills, logical thinking, the ability to evaluate phenomena, make hypotheses and the development of creativity.

The purpose of this work was to develop an author's research problem for group work (under favorable conditions — class work) in high school on “Measuring the magnetic field strength using the Hall effect” from setting research objectives to analyzing its results, and disclosing the peculiarities of its use.

During the work, experiments were performed with a digital Hall sensor (SS41F series): the specification of the digital sensor, its principle of operation and block diagram, the behavior of the sensor in the absence of a magnetic field, and in the presence.

The SS41f sensor is bipolar, its output has two states — the output opens in the presence of a magnetic field of one pole and is closed by a magnetic field of the second pole. Thus, the digital Hall sensor can show the absence or presence of a magnetic field. It works as a “key” depending on the direction of the magnetic field. In one direction, “sensor key lock” was recorded, and in the case of polarity change, “opening” was recorded.

Thus, relatively simple experiments were proposed and performed, paying attention to the correct execution of the measurement process.

In the course of the proposed research task, students will learn to use a variety of devices to measure physical quantities, which will allow them to effectively master certain sections of physics and acquire skills and abilities to use a variety of physical devices.

Key words: research problems, conductor with current, magnetic field, Hall effect, Hall electromotive force sensor.

Citation as:

APA Balabai, R. M., & Hrytsai, Ya. V. (2021). Stanovlennia fizychnykh kompetentnostei uchniv u doslidnytskykh zadachakh [Formation of physical competencies of students in research tasks]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 6, 138–149. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v6i0>.

ДСТУ 8302:2015 Балабай Р. М., Грицай Я. В. Становлення фізичних компетентностей учнів у дослідницьких задачах. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2021. Вип. 6. С. 138–149.