

**Горбач В. М., Люхтан О. А.**  
**Харківський національний університет**  
**імені В. Н. Каразіна**

## **ВІРТУАЛЬНА ЛАБОРАТОРНА РОБОТА “ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МАГНІТНОЇ ПРОНИКНОСТІ ФЕРОМАГНЕТИКІВ”**

*Представлена програма є елементом електронного методичного супроводу практикуму спеціалізації та розроблена авторами (ідея, алгоритми, дизайн) як програма-тренажер для студентів спеціалізації “фізика магнітних явищ”.*

**Ключові слова:** модель, тренажер, візуалізація, магнітна сприйнятливність, фазовий перехід.

У системі університетської освіти лабораторні практикуми, як загальнофізичний, так і спецпрактикуми, поряд з лекціями і практичними заняттями є невід’ємною частиною вивчення природничих дисциплін. Виконуючи лабораторні роботи, студенти самостійно проводять дослідження фізичних процесів, набувають навички експериментальної роботи, знайомляться з найважливішими методами фізичного експерименту.

Час, відведений студенту для здачі допуску до лабораторної роботи, виконання завдань лабораторної роботи, обробки експериментальних даних та оформлення звіту, обмежений годинами лабораторних занять. Так, на загальнофізичному практикумі, призначеному для студентів молодших курсів, більшість робіт розраховано на їх виконання студентами протягом двогодинного заняття. На виконання робіт спецпрактикуму потрібно чотири години і більше. Але, навіть після допуску до лабораторної роботи, на якому студент проходить тест на знання теоретичного матеріалу, конструкції та принципів функціонування лабораторного обладнання, а також порядку дій при виконанні завдання, студентові необхідний незапланований час на безпосереднє знайомство з реальною установкою. Тому без допомоги викладача та інженерного складу практикуму студенти, як правило, не в змозі протягом лабораторного заняття самостійно провести повноцінний фізичний експеримент.

Проблема нестачі лабораторного часу для повноцінного знайомства з устаткуванням і технікою виконання експерименту найбільш актуальна для студентів заочної форми навчання нефізичних факультетів. Також гостро стоїть це питання і для студентів старших курсів фізичних та технічних факультетів, де в лабораторних дослідженнях застосовуються складні багатокомпонентні установки, вивчення будови і принципів функціонування яких, а також відпрацювання техніки поводження з обладнанням забирає чималу частину лабораторного часу.

Логічно випливає висновок, що студенти повинні мати можливість ознайомлення з лабораторною установкою, отримання інформації про функціонування тих чи інших вузлів устаткування, самостійної апробації завдань лабораторної роботи у зручній для себе час і до початку реального виконання лабораторної роботи. Через різні об’єктивні причини інженерний склад практикуму, як правило, цю можливість надати не може. Тому нами була прийнята концепція створення віртуального лабораторного практикуму, що максимально повно копіює реально існуючий лабораторний практикум і входить до складу електронного методичного забезпечення практикуму [1, с. 303-309].

З одного боку, такі електронні посібники, що містять текстову та інтерактивну частину, анімацію, аудіо- та відеоматеріали, віртуальні лабораторні роботи, дозволяють студентові повноцінно освоїти навчальний матеріал. З іншого боку, максимальна наближеність віртуальних лабораторних робіт до реальних дозволяє студентові

підготуватися до виконання завдань на реальній лабораторній роботі.

У даній роботі розглянуті окремі деталі розробки симулятора лабораторної роботи “Дослідження температурної залежності магнітної проникності феромагнетиків” спецпрактикуму для студентів 4 курсу спеціалізації “фізика магнітних явищ” [2, с. 11-14].

Мета даної лабораторної роботи – вивчення особливостей магнітних фазових переходів другого роду на прикладі спінової переорієнтації та перетворення магнітовпорядкованого стану в парамагнітний; визначення температур магнітних фазових переходів.

При нагріванні феромагнетика вище визначеної для даного феромагнетика температури (температури Кюрі) спонтанна намагніченість зникає і феромагнетик перетворюється в парамагнетик. При подальшому зниженні температури феромагнітні властивості відновлюються. Це явище пов’язане з руйнуванням (відновленням) магнітного порядку і являє собою фазовий перехід “порядок-безлад”, який, як правило, є фазовим переходом другого роду. Причиною цього переходу є тепловий рух, що руйнує феромагнітне впорядкування [3, с. 422].

Поряд з магнітними переходами типу “порядок-безлад”, пов’язаними з орієнтацією локальних магнітних моментів, існують переходи типу “порядок-порядок”. До числа таких переходів належать спин-переорієнтаційні магнітні фазові переходи, які пов’язані зі зміною орієнтації магнітних моментів відносно кристалографічних осей при зміні зовнішніх параметрів (температури, тиску, магнітного поля і т.д.) [4, с. 146]

У лабораторній роботі досліджується температурна залежність магнітної сприйнятливості кобальтвмісних гексагональних феритів, в яких, в залежності від температури і складу, реалізуються три види магнітної анізотропії: вісь легкого намагнічування (ВЛН), площина легкого намагнічування (ПЛН) і конус легкого намагнічування (КЛН) [5, с. 131-133]. У нашому випадку в досліджуваному температурному інтервалі (300 – 800 К) крім фазового переходу між феромагнітним і парамагнітним станом спостерігається магнітний фазовий перехід другого роду КЛН ↔ ВЛН.

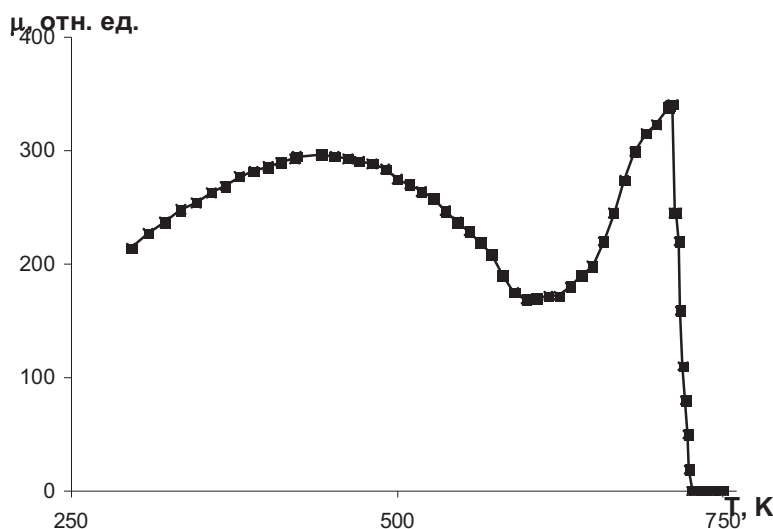


Рис. 1. Температурна залежність магнітної сприйнятливості  $Co_{0,8}Cu_{1,2}Y$

У відповідності з теорією Ландау фазові переходи другого роду характеризуються певними змінами параметра порядку і супроводжуються стрибками других похідних термодинамічного потенціалу (теплоємності, стисливості, магнітної сприйнятливості). На практиці стрибки магнітної сприйнятливості в області фазових переходів другого роду зафіксувати важко. Це пов'язано, зокрема, з процесами зсуву доменних меж, що дають значний внесок в сприйнятливості, і наявністю ближнього порядку в області температури Кюрі. Але, тим не менш, на температурних залежностях магнітної сприйнятливості в області температур магнітних фазових переходів спостерігаються максимуми (рис. 1). Це дає можливість зафіксувати наявність і визначити температури магнітних фазових переходів.

Принципова блок-схема експериментальної установки показана на рис. 2. Для вимірювання магнітної сприйнятливості використовується метод диференціального трансформатора. Первинною обмоткою трансформатора є соленоїд. Вторинна обмотка складається з двох котушок: вимірювальної та компенсаційної, включених назустріч одна одній (протифазно). Вимірювальна та компенсаційна котушки мають однакові конфігурації і кількість витків, тому при оптимальному первинному розташуванні котушок в соленоїді без зразка вихідна напруга диференціального трансформатора має дорівнювати нулю. На практиці цю умову не завжди вдається виконати, тому в установці використовується компенсаційний блок, за допомогою якого досягається рівність сигналів вимірювальної та компенсаційної котушок при відсутності зразка. Якщо тепер зразок, що досліджується, розмістити у середині вимірювальної котушки, то в ній виникає некомпенсована ЕРС, пропорційна магнітній сприйнятливості зразка. Сумарний сигнал від вторинної обмотки диференціального трансформатора надходить на вхід селективного підсилювача і вимірюється вбудованим в підсилювач вольтметром. Посилений до необхідного рівня сигнал подається на вхід диференціального вольтметра.

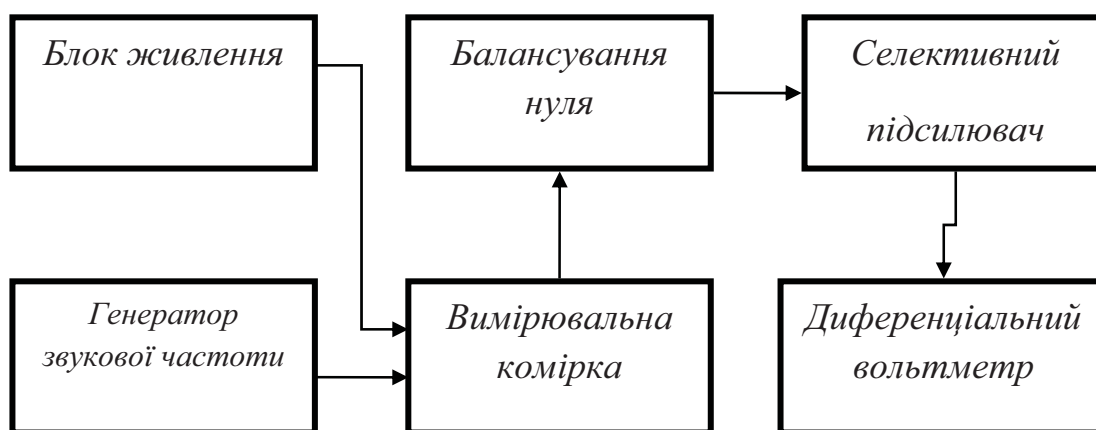


Рис. 2. Принципова блок-схема експериментальної установки

Вимірювальна комірка у перетині показана на рис. 3. Зразок (1) поміщається в піч (2), що являє собою мідну трубку, на яку біфілярно намотаний константовий дріт. Піч знаходиться у водяній сорочці (3), через яку безперервно прокачується вода. Зверху внутрішньої водяної сорочки розташовані вимірювальна та компенсаційна котушки (4), водяна сорочка дозволяє підтримувати температуру котушок приблизно постійною.

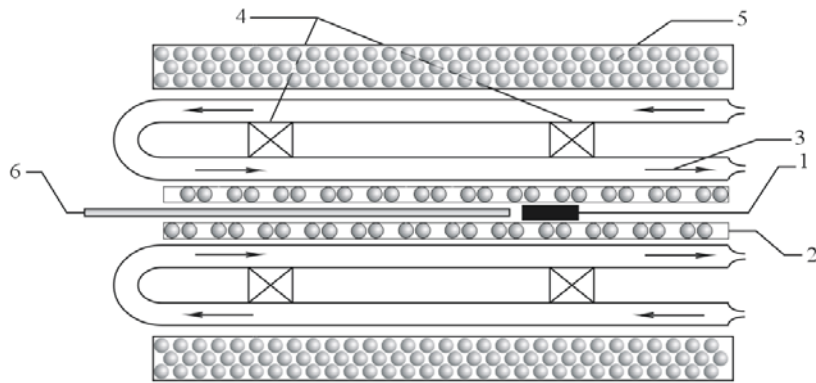


Рис. 3. Вимірювальна комірка

Зверху зовнішньої водяної сорочки намотаний соленоїд (5). Режим роботи печі підбирається експериментально, щоб забезпечити повільне проходження точки Кюрі. Значення температури вимірюється за допомогою диференціальної термопари (6) і мілівольметра [2, с. 14].

На етапі проектування команда розробників поставила перед собою наступні завдання:

- Віртуальна установка візуально повинна бути максимально близька до оригіналу, з одного боку, і не повинна бути перевантажена надмірними деталями, що не несуть функціонального навантаження, з іншого.

- Віртуальна установка повинна надавати студентів інструментарій для вивчення конструкції лабораторної установки, у тому числі задля огляду внутрішніх елементів, недоступних для безпосереднього спостереження, але значущих для розуміння суті і деталей експерименту.

- З огляду на те, що віртуальну установку планується використовувати в якості тренажера для відпрацювання техніки виконання експерименту, вона повинна бути повноцінним сенсорно-моторним аналогом установки реальної, емулювати рухи експериментатора за допомогою клавіатури та маніпулятора “миша” і створювати високий ефект присутності.

- Математичні моделі, що лежать в основі імітації, повинні адекватно описувати всі етапи експерименту, як основні, безпосередньо пов’язані з досліджуванним явищем і отриманими експериментальними результатами, так і допоміжні, які відповідають технічним деталям функціонування лабораторної установки.

Програма написана в середовищі Microsoft Visual C++ з використанням мови OpenGL. Основне вікно програми поділено на кілька логічних зон (рис. 4). Безпосередньо у вікні перегляду засобами OpenGL відображаються елементи вимірювальної комірки (1) і графічна інтерпретація результатів модельного експерименту (2). Всі вимірювальні прилади (3), а також панель управління (4), організовані як дочірні по відношенню до вікна перегляду діалогові вікна, що містять елементи управління, які програмно взаємодіють з вікном перегляду, і, при необхідності, один з одним. Наприклад, поворот ручки регулювання приладу обробляється класом, що відповідає діалоговому вікну приладу, після чого надсилається повідомлення батьківському вікну – вікну перегляду – про зміну відповідної змінної. Вікно перегляду отримує значення змінної і зображення в ньому змінюється відповідно до нових параметрів.

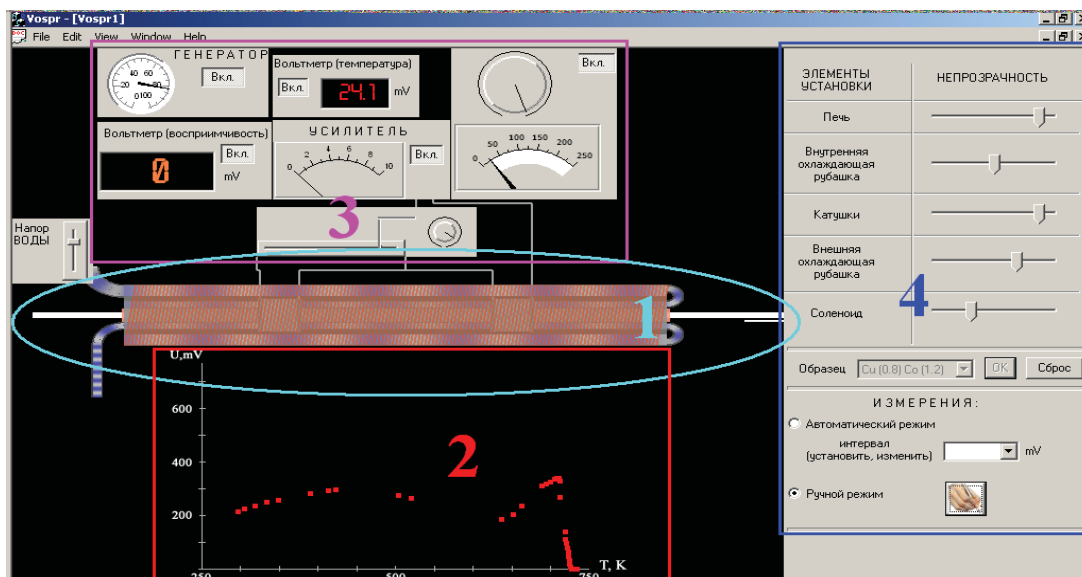


Рис. 4. Основне вікно програми

Вимірювальна комірка установки являє собою набір коаксіальних циліндрів – зразок, термopара, піч, внутрішня і зовнішня охолоджуючі сорочки, вимірювальна і компенсаційна котушки, і зовнішній, єдиний безпосередньо видимий елемент вимірювальної комірки, соленоїд.

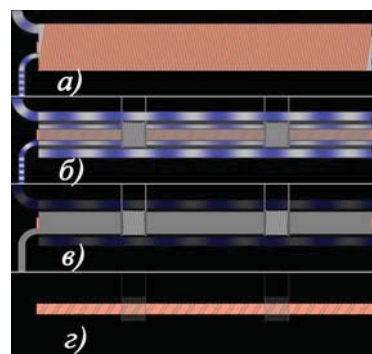


Рис. 5. Панель управління

Рис. 6. Прозорість елементів вимірювальної комірки

Всі елементи представлені на екрані їх двовимірною (плоскою) моделлю, водянї охолоджуючі сорочки – в перерізі, щоб продемонструвати течію води – напрямом і швидкістю, яку можливо регулювати. Для того, щоб забезпечити видимість структурних елементів установки, кожен з них намальовано в окремому шарі, прозорість якого можна регулювати, зiставляючи змінній  $\alpha$  (альфа-канал) функції `glColor4f(red, green, blue, alpha)`, яка визначає колір елемента [6, с. 77-78], положення повзункового регулювальника непрозорості відповідного елемента вимірювальної комірки на панелі управління (рис. 5), тим самим роблячи елемент більш-

менш видимим (рис. 6, а – зовнішній елемент соленоїд цілком непрозорий, б – соленоїд прозорий, видно сорочки охолодження в перерізі, непрозорі котушки і піч, в – котушки на непрозорій внутрішній охолоджуючій сорочці, зовнішні елементи прозорі і г – напівпрозорі котушки, непрозора піч, інші елементи прозорі). Ця функція програми, зокрема, є зручною для відпрацювання техніки розміщення зразка в вимірювальній котушці – в лабораторній установці студент орієнтується по максимуму сигналу, а модель дозволяє спостерігати залежність сигналу від положення зразка відносно котушок.

У даній роботі ми намагалися організувати максимально правдоподібну імітацію дій людини, що працює з установкою, із збереженням алгоритму необхідної їх послідовності. Програма дозволяє (і вимагає) включити вимірювальні прилади, відрегулювати швидкість течії води в охолоджувальних сорочках, провести балансування котушок у відсутності зразка, вибрати зразок із запропонованого списку, помістити зразок у трубку печі, і, допомагаючи собі двома керамічними трубками, розташувати зразок у вимірювальній котушці. При цьому над усіма рухливими елементами курсор змінює форму з традиційною “стрілки” на “руку”. Захоплення елемента відбувається лівою кнопкою миші, при цьому курсор приймає форму “стислої руки”, а елемент стає можливим перемістити мишею в потрібну точку (рис. 7).

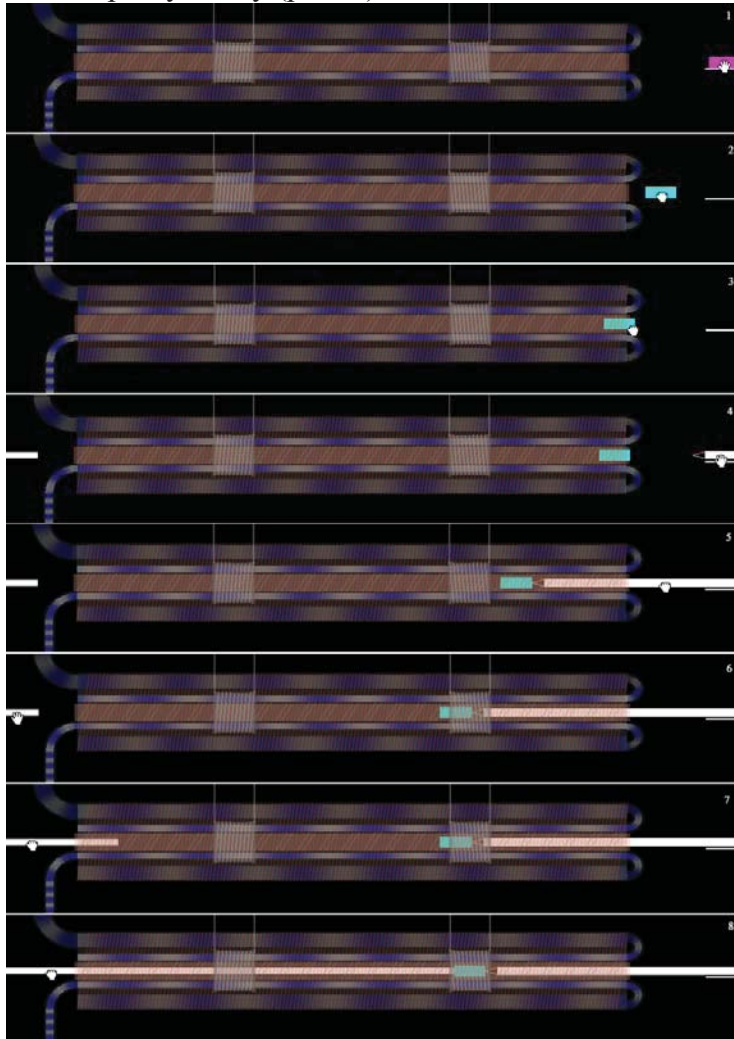


Рис. 7. Розміщення зразка у вимірювальній котушці

Програмно розміщення зразка організовано наступним чином: у вікні перегляду обробляються події натискання лівої кнопки миші WM\_LBUTTONDOWN, переміщення

курсору миші WM\_MOUSEMOVE і відпускання лівої кнопки миші WM\_LBUTTONDOWN. [7, с. 726-755] У випадку, якщо курсор знаходиться в області елемента, що може рухатися (зразок або керамічні стрижні), натискання лівої кнопки з подальшим переміщенням миші викликає перерахування координат рухомих об'єктів відповідно до поточного положення курсору. При цьому для коректної імітації роздільного та спільного руху елементів враховувалися наступні можливі фізичні ситуації (рис. 7): (1-3) – переміщення зразка безпосередньо; (4) – переміщення правої і (6, 7) – лівої керамічних трубок безпосередньо, коли рухома трубка не знаходиться в контакті із зразком або втрачає контакт із зразком; (5) – переміщення зразка за допомогою однієї з трубок, коли зразок знаходиться в контакті з відповідною керамічною трубкою; (8) – переміщення зразка і другої трубки за допомогою однієї з трубок, коли всі три рухомих елемента знаходяться в контакті один з одним.

Напруга розпалу печі також регулюється в програмі вручну – за допомогою ручки-регулятора програмної імітації джерела живлення.

Результати віртуального експерименту візуалізуються безпосередньо по ходу вимірів (рис. 8) – кожному натисканню на кнопку “вимірювати” (а), що фіксує поточні значення температури зразка та сприйнятливості його в умовних одиницях, відразу ж співставляється точка на графіку (б), що відображається на екрані.

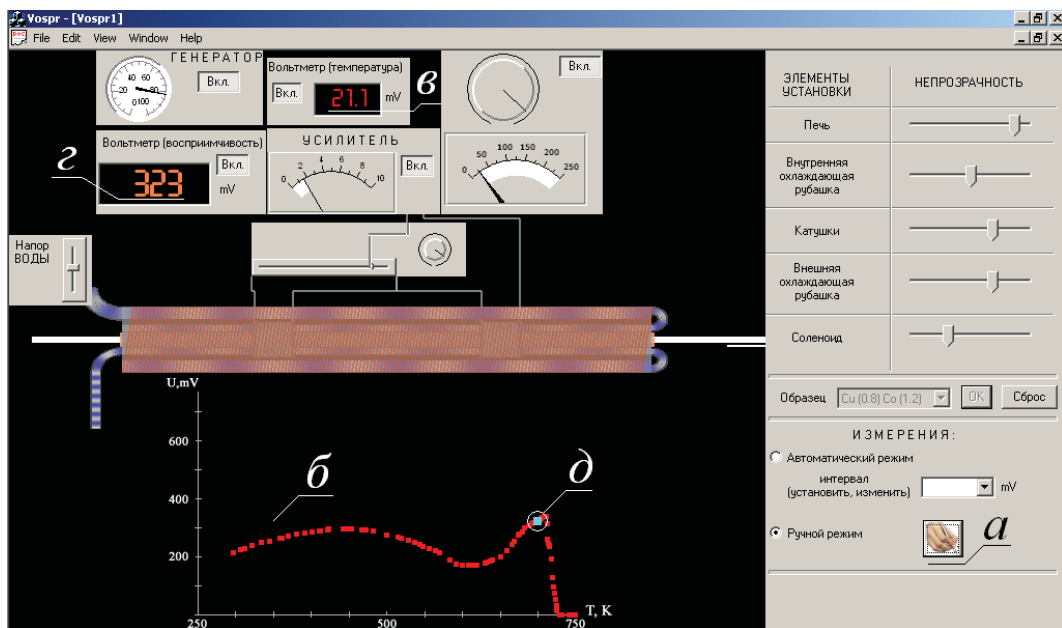


Рис. 8. Візуалізація результатів

При цьому програмно здійснюється перерахунок температури з mV, що відображаються на табло віртуального вольтметра (в), підключеного до термопари, в градуси Кельвіна осі абсцис графіка. Ордината точки відповідає сигналу, пропорційному сприйнятливості зразка, що відображається на табло віртуального вольтметра (г). Програма, як і реальна лабораторна установка, дозволяє виконувати прямий і зворотний хід по температурі в будь-який момент проведення вимірювань. Маркер, що відповідає поточному виміру, виділяється кольором і розміром (д).

Результати, отримані в ході роботи з програмою-тренажером, базуються на експериментальних результатах, отриманих на лабораторному обладнанні для зразків даного складу студентами та співробітниками кафедри (рис. 1).

Незважаючи на те, що в кожному окремому випадку завдання проектування і

написання лабораторної роботи-тренажера має індивідуальні особливості й складності, в даній статті авторами запропоновано ряд рішень типових підзадач розробки навчального ПЗ, які можуть успішно використовуватися при створенні електронних моделей лабораторних робіт для студентів природничих і технічних спеціальностей, денної, заочної та, у перспективі, дистанційної форми навчання.

#### **Використана література:**

1. Люхтан Е. А. Электронное методическое пособие к выполнению лабораторных работ по курсу общей физики / Е. А. Люхтан, В. Н. Горбач, С. П. Гоков // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики : збірник наукових праць. – Випуск 4. – Т. 2. – Кривий Ріг, 2004. – С. 302-309.
2. Попков Ю. А. Методические указания к выполнению лабораторных работ по спецкурсу “Физические свойства магнитоупорядоченных веществ” / Ю. А. Попков, Ю. А. Мамалуй, В. Н. Горбач, Е. Ф. Ковтун, Л. П. Ольховик, З. И. Сизова. – Часть II. – Харьков : ХГУ, 1983. – 60 с.
3. Вонсовский С. В. Магнетизм / С. В. Вонсовский. – М. : Наука, 1971. – 1032 с.
4. Белов К. П. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках / К. П. Белов, А. К. Звездин, А. М. Кадомцева, Р. З. Левитин. – М. : Наука, 1979. – 320 с.
5. Spin reorientation in  $Co_{1,5}Ni_{0,5}Sr-W$  hexagonal ferrite A. A. Murakhowski, V. N. Gorbach, J. H. Hankiewicz // J. Magn. Magn. Mater. 110 (1991). – С. 131-133.
6. Эйнджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL / Эдвард Эйнджел. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2001. – 592 с.
7. Хортон А. Visual C++ 2005. Базовый курс / Айвор Хортон. – “Диалектика”, Москва-Санкт-Петербург-Киев, 2007. – 1152 с.

#### **А н н о т а ц и я**

Представленная программа является элементом электронного методического сопровождения практикума специализации и разработана авторами (идея, алгоритмы, дизайн) как программа-тренажер для студентов специализации “физика магнитных явлений”.

**Ключевые слова:** модель, тренажер, визуализация, магнитная восприимчивость, фазовый переход.

#### **A n n o t a t i o n**

The presented program is the part of the electronic workshop methodological support and it developed by the authors (the idea, algorithms, design) as a program-trainer for the students specialty "physics of magnetic phenomena."

**Keywords:** model, simulator, visualization, magnetic susceptibility, the phase transition.

**Гордієнко Т. П.**  
**Кримський економічний інститут**  
**ВНЗ “КНЕУ імені Вадима Гетьмана”**

## **ІНФОРМАЦІЙНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ САМОСТІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

Успішність будь-якої діяльності багато в чому визначається її умовами. З великої сукупності умов навчання (соціально-економічні, індивідуально-психологічні, просторово-часові, зовнішнє середовище тощо) виділяються ті, від яких в першу чергу залежить ефективність “передачі індивіду досвіду, виробленого соціальною практикою: знань, умінь, видів і способів діяльності для конкретно-історичних умов” [7, с. 77] – умова інформаційного і методичного забезпечення навчання.

Інформаційне забезпечення дає відповідь на запитання: “Що вивчати?”, а методичне – відповідає на запитання: “Як вивчати?”. В першому випадку –