

Д. В. МОСЬПАН, О. О. ЮРКО  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

## СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ТЕРМОРЕЗИСТОРА В ПРОГРАМІ LABVIEW ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКІВ

*У статті розглянуто розробку віртуального приладу для дослідження температурних характеристик напівпровідникових матеріалів на основі терморезисторів у середовищі графічного програмування LabVIEW. Актуальність роботи зумовлена поширенням дистанційних і змішаних форм навчання, за яких доступ студентів до реальних лабораторних стендів є обмеженим. Існуючі програмні симулятори електронних схем переважно орієнтовані на аналіз електричних схем і мають обмежені можливості для дослідження фізичних параметрів напівпровідникових матеріалів. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні спеціалізованих віртуальних лабораторних засобів, що дозволяють відтворити логіку реального експерименту та забезпечити повноцінне виконання практичних робіт у дистанційному форматі.*

*Метою роботи є створення інтерактивної програмної моделі, що дозволяє проводити віртуальний експеримент з дослідження температурної залежності опору терморезистора та визначення параметрів напівпровідникового матеріалу. Методика дослідження базується на використанні табличних температурних характеристик терморезисторів, що наводяться у технічній документації виробників. Дані інтегровані безпосередньо у програму у вигляді внутрішніх масивів, що забезпечує автономність роботи програмного засобу.*

*Розроблений віртуальний прилад реалізує послідовні етапи лабораторного дослідження: введення вихідних даних, проведення віртуальних вимірювань та обробку результатів. У режимі вимірювання користувач формує набір експериментальних точок, задаючи значення температури, для яких обчислюється опір терморезистора. Передбачено графічне відображення залежностей, автоматичне сортування даних та можливість редагування вибраних точок. У режимі обробки даних виконується лінеаризація залежності та лінійна апроксимація методом найменших квадратів, що дозволяє визначити енергію активації процесу перенесення заряду в матеріалі терморезистора.*

*Розроблений програмний засіб може використовуватися у складі віртуальних лабораторних практикумів з фізики та електроніки, забезпечуючи можливість виконання досліджень у дистанційному навчальному середовищі.*

**Ключові слова:** напівпровідник, апроксимація, терморезистор, лабораторний практикум, Labview.

D. V. MOSPAN, O. O. YURKO  
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

## CREATION OF A VIRTUAL THERMORESISTOR MODEL IN THE LABVIEW PROGRAM FOR STUDYING THE CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTORS

*The article discusses the development of a virtual device for studying the temperature characteristics of semiconductor materials based on thermistors in the LabVIEW graphical programming environment. The relevance of the work is due to the spread of distance and blended learning, in which students' access to real laboratory stands is limited. Existing software simulators of electronic circuits are mainly focused on the analysis of electrical circuits and have limited capabilities for studying the physical parameters of semiconductor materials. In this regard, there is a need to create specialized virtual laboratory tools that allow reproducing the logic of a real experiment and ensuring the full implementation of practical work in a remote format.*

*The purpose of the work is to create an interactive software model that allows conducting a virtual experiment to study the temperature dependence of the thermistor resistance and determine the parameters of the semiconductor material. The research methodology is based on the use of tabular temperature characteristics of thermistors, which are given in the technical documentation of manufacturers. The data is integrated directly into the program in the form of internal arrays, which ensures the autonomy of the software tool.*

*The developed virtual device implements the sequential stages of laboratory research: input of initial data, virtual measurements and processing of results. In the measurement mode, the user forms a set of experimental points, specifying the temperature values for which the thermistor resistance is calculated. Graphical display of dependencies, automatic data sorting and the ability to edit selected points are provided. In the data processing mode, linearization of the dependence and linear approximation by the least squares method are performed, which allows determining the activation energy of the charge transfer process in the thermistor material.*

*The developed software tool can be used as part of virtual laboratory workshops in physics and electronics, providing the ability to perform research in a distance learning environment.*

**Keywords:** *semiconductor, approximation, thermistor, laboratory practical, Labview.*

### **Постановка проблеми**

Сучасний розвиток дистанційних та змішаних форм навчання ставить нові вимоги до організації лабораторних занять з технічних дисциплін [1]. Особливо це стосується курсів, пов'язаних із дослідженням фізичних властивостей електронних компонентів та напівпровідникових матеріалів, де традиційно значна частина навчального процесу базується на роботі з реальними вимірювальними стендами та лабораторним обладнанням. За умов дистанційного навчання доступ до таких стендів часто є обмеженим або взагалі відсутнім, що створює певну прогалину між теоретичним викладом матеріалу та практичним його засвоєнням.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Існуючі програмні середовища моделювання електронних схем, такі як SPICE-орієнтовані симулятори, здебільшого призначені для аналізу електричних схем і не орієнтовані на дослідження фізичних параметрів напівпровідникових матеріалів. У більшості таких систем відсутні інструменти, що дозволяють організувати навчальний процес у вигляді інтерактивного віртуального експерименту з подальшою обробкою отриманих даних та їх фізичною інтерпретацією [2–3].

У зв'язку з цим актуальним є створення спеціалізованих програмних засобів, які б відтворювали логіку реального лабораторного експерименту та дозволяли студентам виконувати всі його етапи: вибір елемента для дослідження, отримання експериментальних даних, їх обробку та визначення фізичних параметрів матеріалу. Запропонований у роботі віртуальний стенд на базі середовища LabVIEW [4–9] дозволяє моделювати температурні характеристики терморезисторів, виконувати інтерактивне формування експериментальних даних та проводити їх математичну обробку з визначенням енергії активації процесу перенесення заряду в напівпровідниковому матеріалі.

### **Мета дослідження**

Метою роботи є створення інтерактивної програмної моделі, що дозволяє проводити віртуальний експеримент з дослідження температурної залежності опору терморезистора та визначення параметрів напівпровідникового матеріалу.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

На передній панелі користувачу пропонується обрати терморезистор для дослідження відповідно до номеру варіанта. Відповідні залежності з технічної документації виробника [10–12] представлені у вигляді таблиць і внесені як Array Constant на блоксхемі. Окрім такого варіанту можливо зчитувати дані з відповідних створених текстових файлів за допомогою Read From Spreadsheet File. Але це створює певні незручності, оскільки виникає необхідність у завантаженні додаткових файлів даних при використанні даного ВП на різних комп'ютерах. Можливо скомбінувати запропоновані варіанти: зчитати дані з текстових файлів та відобразити їх на Array Indicator, а потім на блок діаграмі для ВП Array Indicator з меню обрати Change to Constant. Таким чином таблиці даних з характеристиками терморезисторів будуть збережені всередині створеного віртуального приладу у вигляді масивів без необхідності задіяння зовнішніх додаткових файлів. Отже на передній панелі за допомогою Menu Ring створюється випадаюче меню – перелік терморезисторів (рис. 1).

Для дослідження температурної залежності необхідно мати можливість отримати значення опору терморезистора для довільної температури за запитом користувача. Отже, для отримання аналітичної залежності треба провести апроксимацію характеристики за таблицею даних.

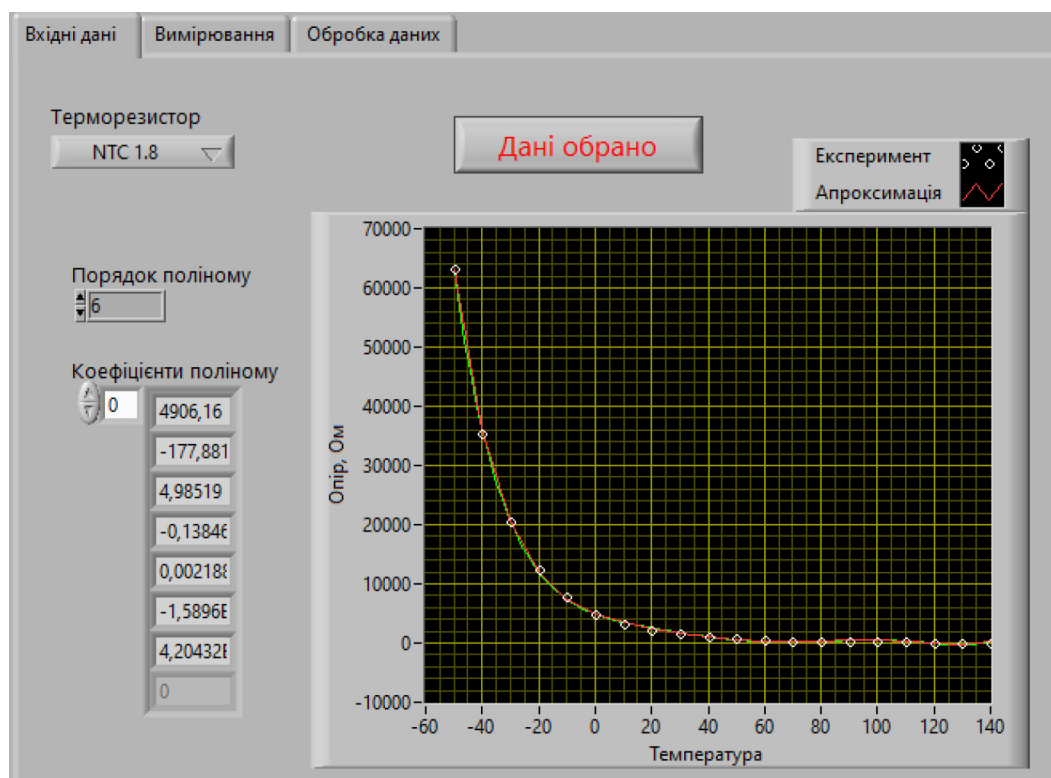


Рис. 1. Передня панель для демонстрації вкладки «Вхідні дані»

Залежність опору від температури для терморезистора зазвичай описують наступною залежністю:

$$R(T) = R_0 e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}, \quad (1)$$

де  $R_0$  – опір при температурі  $T_0$  (зазвичай  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ),  $B$  – коефіцієнт температурної чутливості, (одиниці виміру – Кельвіни).

Апроксимація експоненціальною залежністю всього робочого діапазону дає місцями суттєву похибку. Більш рівномірно розподілену похибку дає поліноміальна апроксимація. На рис. 2 наведені абсолютні похибки для експоненціальної та поліноміальної апроксимації шостого порядку.

Для даного випадку на панелі користувача пропонується обрати порядок поліному та виводяться розраховані значення коефіцієнтів апроксимації, а також на XY Graf графічно відображається результат апроксимації на фоні експериментальних даних.

При запуску програми спочатку виконується кадр, що відповідає першій вкладці «Вхідні дані». Перебування в даному режимі забезпечує цикл While, а вихід з нього – натискання на кнопку «Данні обрано» (рис. 3). Після цього програма переходить до наступного кадру, але активних дій не виконує, поки користувач не перейде на вкладку Tab Control «Вимірювання» (рис. 4) і програма переходить у відповідне вікно структури Case з однойменною назвою. Ця структура має лише одне заповнене вікно, оскільки всі інші елементи діаграми, що відповідають за інші режими роботи, розташовані в послідовності кадрів Flat Sequence Structure. Пребування в даному вікні (режимі) знову забезпечується циклом While, а вихід з нього – спричиняє натискання на кнопку «Завершити».

Після цього програма переходить до останнього кадру, в якому послідовність розрахунків виконується вже автоматично, а результат їх виконання користувач може переглянути на вкладці «Обробка даних».

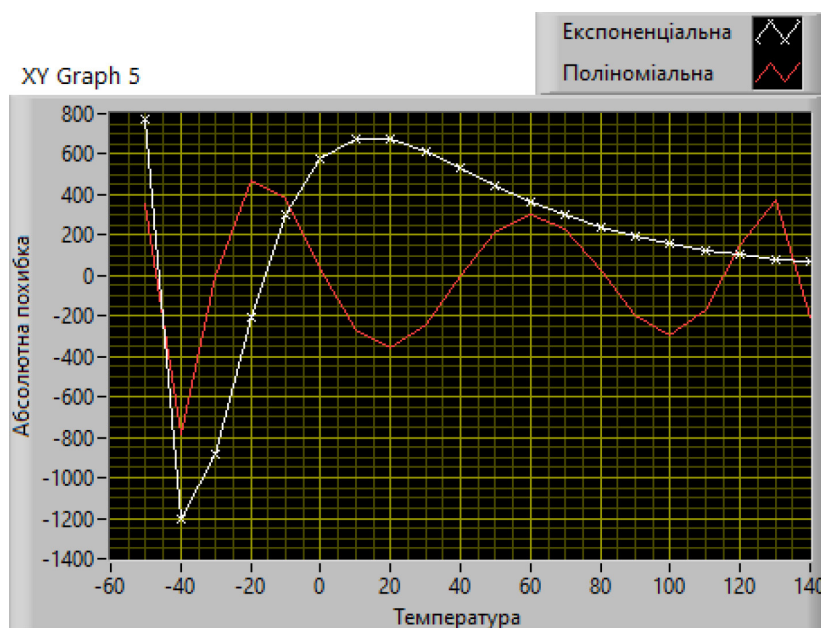


Рис. 2. Абсолютна похибка експоненціальної та поліноміальної апроксимацій

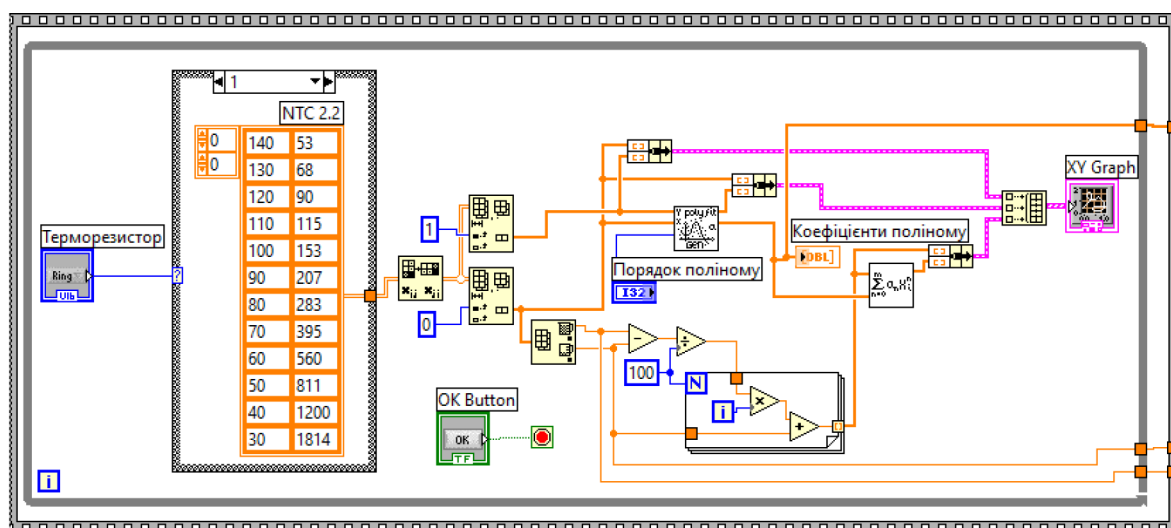


Рис. 3. Фрагмент блок діаграми для реалізації з виконання кадру «Вхідні дані»

Опишемо більш детально роботу двох останніх режимів роботи програми.

В режимі «Вимірювання» користувач має обрати послідовність значень температур для яких буде розраховані значення опорів терморезистора за поліноміальною апроксимацією за попередньо обраним порядком поліному. Значення температури обираються повзунком регулятора, що розташований в нижній частині вікна (див. рис. 4). Для підтвердження обраного значення потрібно натиснути кнопку «Записати». Відповідна точка з'являється на графіку. Користувач має можливість обирати точки в довільній послідовності в заданому діапазоні температур (а не тільки за зростанням чи спаданням температури). Для цього масиви даних постійно перебираються при надходженні нової точки для сортування значень температури за зростанням. При цьому відповідну перебудову зазнає і масив опорів, дублюючи операції переставлення за індексами елементів з матриці температур. Відповідні операції показані на блок діаграмі рис. 5.

При підтвердженні обрання точки відповідні значення температури та опору з'являються в таблиці праворуч від графіка. Користувачу надається можливість редагувати обрані значення

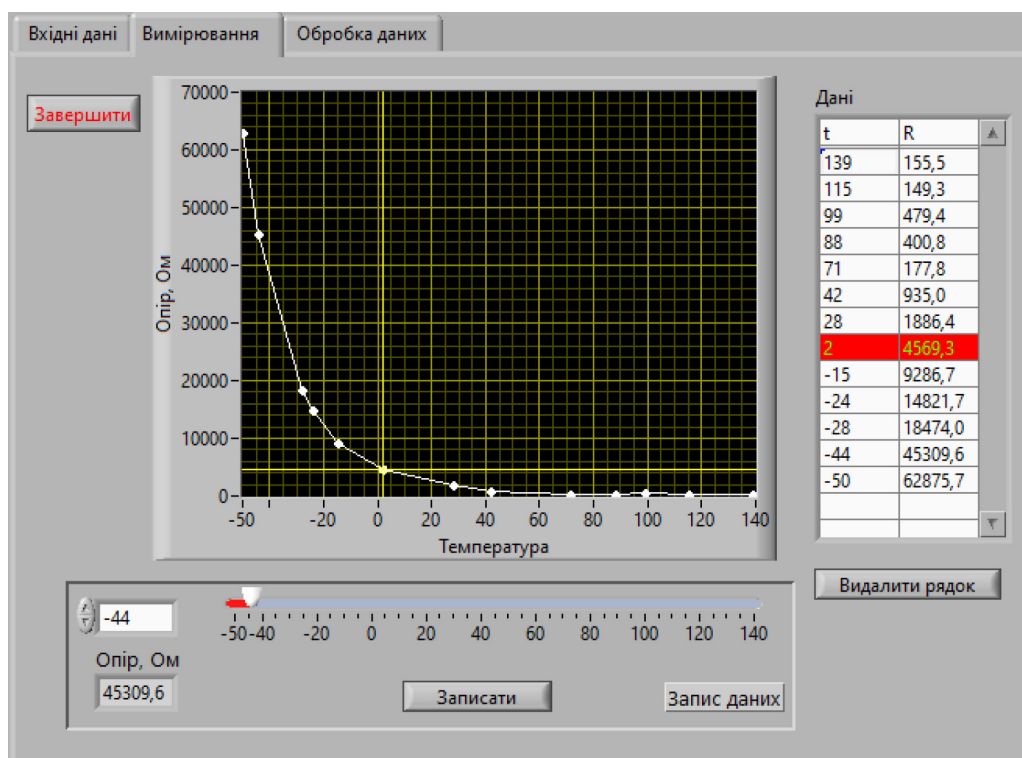


Рис. 4. Передня панель для демонстрації вкладки «Вимірювання»

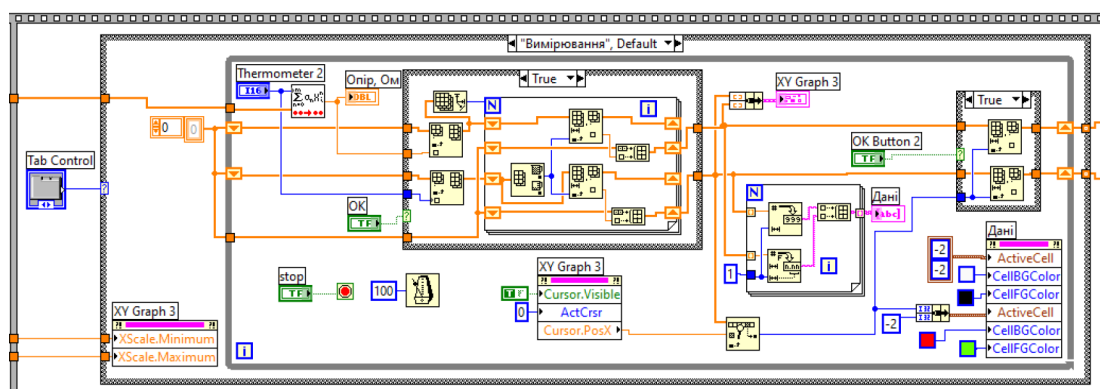


Рис. 5. Фрагмент блок діаграми для реалізації з виконання кадру «Вимірювання»

шляхом видалення небажаних точок. Для цього на полі графіка необхідно мишею навести на курсор у вигляді перехрестя двох ліній, що знаходиться зазвичай на точці з найбільшим значенням температури, і, натиснувши ліву кнопку миші, перетягнути його на потрібну точку. При цьому в таблиці рядок, що відповідає обраним значенням, змінює колір на червоний. Натискання на кнопку «Видалити рядок» виконує відповідну дію, тобто ці дані будуть видалені з матриць опору та температури.

В режимі «Обробка даних» на панелі користувача відображається графік залежності  $\ln(R) = f(1/T)$ . Дана залежність дозволяє лінеаризувати обрані користувачем точки, що розподілені за експоненційною залежністю. Отримані значення підлягають лінійній апроксимації за методом найменших квадратів за допомогою ВП Linear Fit (рис. 6). Результат апроксимації на фоні знятих «експериментальних» точок виводиться на графік вкладки передньої панелі. При цьому тангенс кута нахилу прямої  $m$  буде визначати енергію активації домішок напівпровідника матеріалу терморезистора за формулою:

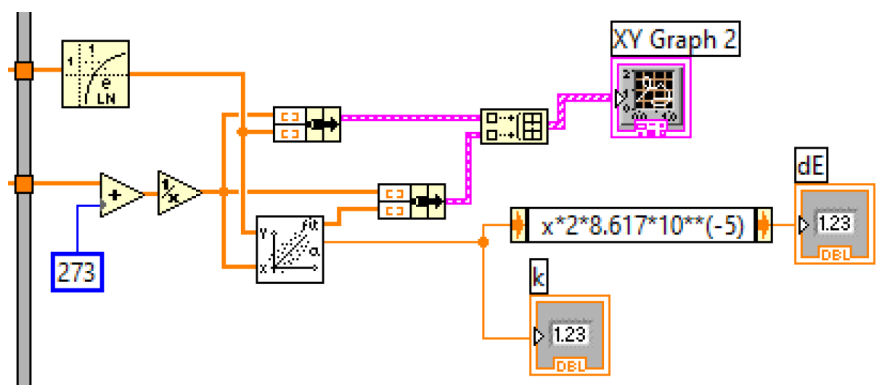


Рис. 6. Фрагмент блок діаграми для реалізації з виконання кадру «Обробка даних»

$$dE_a = 2km = 2m \cdot 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV.}$$

Отже, при розрахунку кута нахилу прямої експериментально визначається енергія активації процесу перенесення заряду в матеріалі терморезистора. Для оксидних NTC-терморезисторів ця величина інтерпретується як енергія термоактивованого переходу носіїв заряду між локалізованими (дефектними) станами, а не як істинна ширина забороненої зони ідеального кристалічного напівпровідника.

У деяких матеріалах залежно від складу та мікроструктури ця величина може досягати приблизно 0,7...0,8 eV. Значення, істотно менші за 0,1 eV, як правило, свідчать про домінування механізмів, пов'язаних із бар'єрами на межах зерен або контактними явищами, тоді як величини понад 1eV є нетиповими для оксидних NTC і можуть вказувати на інший механізм провідності або помилки експериментальної обробки.

### Висновки

В результаті створено віртуальний прилад для дослідження властивостей напівпровідникових матеріалів, шляхом обробки температурних характеристик терморезисторів. Для застосування даного додатка в учбових цілях пропонується створення внутрішньої бази даних з експериментальних температурних залежностей елементів, що надаються виробниками. Це забезпечує надання індивідуальних завдань для здобувачів при впровадженні практикуму в учбовий процес.

Користувачу надається можливість обрати порядок поліноміальної апроксимації експериментальних точок та візуально оцінити результат на графіку.

Програма передбачає інтерактивний режим в якому користувач довільно обирає значення температур і отримує відповідну температурну залежність терморезистора. При цьому передбачена можливість редагування обраних точок як графічно, так і в табличному вигляді. Після цього надаються результати обробки отриманої залежності з визначенням енергії активації домішок напівпровідникового матеріалу терморезистора.

Далі планується поєднати роботу розробленого віртуального приладу з реальним фізичним стендом для вимірювання опорів терморезисторів при нагріванні. Також можливо розширити першу частину роботи, шляхом уведення різних варіантів апроксимації температурної залежності: кусково-лінійної, експоненціальної та поліноміальної. Користувач зможе обирати різні параметри та оцінити точність апроксимації.

**Список використаної літератури**

1. Мосьпан Д., Юрко О., Перекрест А., Кухаренко Д., Вадурін К., Повниця С. Візуальна фіксація руху об'єкта засобами Labview при проведенні фізичного експерименту. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2023. № 4 (141). С. 29–35. DOI : <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.12>
2. Мосьпан Д. В., Юрко О. О., Перекрест А. Л., Кухаренко Д. В., Вадурін К. О. Комп'ютеризований практикум з моделювання фізичних процесів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук. 2022. 6 (137). С. 29–35. DOI : <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.6.3>
3. Мосьпан Д., Юрко О. Моделювання та візуалізація магнітного поля котушки індуктивності засобами LabVIEW. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2025. Т. 8. № 2. С. 202–209. DOI : <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2025-8-2-21>
4. Fomovskaya O. et al. Approximation of ECG Signals by Labview Software. “*International Conference on MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS*”. *Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, September 23–25*. 2021. P. 518–521. DOI : <https://doi.org/10.1109/mees52427.2021.9598657>
5. National Instruments. URL: <http://www.ni.com/> (дата звернення: 09.12.2025).
6. LabVIEW Programming Reference Manual. URL: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview-api-ref/page/menus/default/root-mnu.html> (дата звернення: 09.12.2025).
7. LabVIEW User Manual. USA. National Instruments Corporation. 2003. 349 p.
8. Nevludov I., Sychova O., Novoselov S., Mospan D. Multithreaded Software Control Of Industrial Manipulator Movement. “*International Conference on MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS*”. *Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, October 20–22*. 2022. P. 319–325. DOI : <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005675>
9. Datasheet and operating guide TCS. Series Thermistors. URL: [www.teamwavelength.com](http://www.teamwavelength.com) (дата звернення: 09.12.2025).
10. Chala O., Bronnikov A., Nevludov I., Mospan D. The Use Of Neural Networks For The Technological Objects Recognition Tasks In Computer-Integrated Manufacturing. “*International Conference on MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS*”. *Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, October 20–22*. 2022. P. 518–521. DOI : <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005750>
11. NTC thermistors for temperature measurement. Leaded NTC thermistors, lead spacing 2.5 mm. Series: B57891M. TDK Group Company. January 2018.
12. NTC Thermistors. Resistive Products. Application Note. Document Number: 29053. URL: [www.vishay.com](http://www.vishay.com). January 2021

**References**

1. Mospan D., Yurko O., Perekrest A., Kukharenko D., Vadurin K., & Povnytsia S. (2023). Vizual'na fiksatsiya rukhu ob'yekta zasobamy Labview pry provedenni fizychnoho eksperymentu. [Visual fixation of object movement using Labview tools during a physical experiment]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho*, 4 (141), 29–35. DOI : <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.12> [in Ukrainian].
2. Mos'pan D. V., Yurko O. O., Perekrest A. L., Kukharenko D. V., & Vadurin K. O. (2022). Komp'yuteryzovanyy praktykum z modelyuvannya fizychnykh protsesiv [Computerized workshop on simulation of physical processes]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho*, 6 (137), 29–35. DOI : <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.6.3> [in Ukrainian].
3. Mos'pan D., & Yurko O. (2025). Modelyuvannya ta vizualizatsiya mahnitnoho polya kotushky induktyvnosti zasobamy LabVIEW. [Modeling and visualization of the magnetic field of an

- inductance coil using LabVIEW.] *Prykladni pytannya matematychnoho modelyuvannya*, 2 (8), 202–209. DOI : <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2025-8-2-21> [in Ukrainian].
4. Fomovskaya O. et al. (2021). Approximation of ECG Signals by Labview Software. “*International Conference on MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS*”. *Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, September 23–25, 2021*, 518–521. DOI : <https://doi.org/10.1109/mees52427.2021.9598657> [in English].
  5. National Instruments. Retrieved from: <http://www.ni.com/> [in English].
  6. LabVIEW Programming Reference Manual. Retrieved from: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview-api-ref/page/menus/default/root-mnu.html> [in English].
  7. LabVIEW User Manual. (2003). USA. National Instruments Corporation. 349 p. [in English].
  8. Nevludov I., Sychova O., Novoselov S., & Mospan D. (2022). Multithreaded Software Control Of Industrial Manipulator Movement. “*International Conference on MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS*”. *Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, October 20–22, 2022*, 319–325. DOI : <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005675> [in English].
  9. Datasheet and operating guide TCS. (2025). Series Thermistors. Retrieved from: [www.teamwavelength.com](http://www.teamwavelength.com) [in English].
  10. Chala O., Bronnikov A., Nevludov I., & Mospan D. (2022). The Use Of Neural Networks For The Technological Objects Recognition Tasks In Computer-Integrated Manufacturing. “*International Conference on MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS*”. *Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, October 20–22, 2022*, 518–521. DOI : <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005750> [in English].
  11. NTC thermistors for temperature measurement. (2018). Leaded NTC thermistors, lead spacing 2.5 mm. Series: B57891M. TDK Group Company.
  12. NTC Thermistors. (2021). Resistive Products. Application Note. Document Number: 29053. Retrieved from: [www.vishay.com](http://www.vishay.com).

Моспан Денис Владиславович – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп’ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. E-mail: [denis.mospan@gmail.com](mailto:denis.mospan@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5473-7874.

Юрко Олексій Олексійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп’ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. E-mail: [yurkoalexe@gmail.com](mailto:yurkoalexe@gmail.com), ORCID: 0000-0002-8244-2376.

Mospan Denis Vladyslavovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Engineering and Electronics of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. E-mail: [denis.mospan@gmail.com](mailto:denis.mospan@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5473-7874.

Yurko Oleksiy Oleksiiiovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Engineering and Electronics of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. E-mail: [yurkoalexe@gmail.com](mailto:yurkoalexe@gmail.com), ORCID: 0000-0002-8244-2376.

Дата першого надходження статті до видання: 17.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 01.07.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)