

## МЕТОДИКА ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ТА ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ДАНИХ ПРИ НЕРАВНОМІРНОМУ КРОКУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Поляков М. О.,<sup>1</sup> Василевський В.В.<sup>2</sup>, Поляков О.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Професор кафедри "Електричні та електронні апарати", Національний  
Університет "Запорізька політехніка", Україна

<sup>2</sup> Доцент кафедри "Електричні та електронні апарати", Національний  
Університет "Запорізька політехніка", Україна

<sup>3</sup> Студент кафедри «Інформаційні системи та технології», Національний  
технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського», Україна

**Анотація.** *Проблемою використання експериментальних даних є обмежений діапазон та нерівномірний крок вимірювань за окремими змінними. Це знижує точність визначення значення шуканої функції. Метою дослідження є збільшення кількості значень шуканої функції за обмеженими експериментальними даними. Метод дослідження полягає у розробці методики інтерполяції та екстраполяції експериментальних даних з використанням функцій пакету Матлаб. Результатом дослідження є методика яка дозволяє створити рівномірну сітку опорних значень, заповнити її з необхідним кроком зміни змінних, екстраполювати дані на межі простору даних, де вплив даного аргументу на функцію дорівнює нулю, виділити внесок окремих аргументів у значення функції, синтезувати значення функції у нових вузлах опорної сітки значень Наведено приклад застосування запропонованої методики для формування простору значень відносної швидкості старіння целюлозної ізоляції обмоток силового трансформатора як функції температури, вологості та доступу кисню, що дозволило як мінімум у 4,5 рази збільшити кількість даних порівняно з експериментом.*

**Ключові слова:** *обробка даних експерименту, інтерполяція, екстраполяція, функції Матлаб, швидкість старіння ізоляції.*

**Вступ.** У практиці експериментів досить часто зустрічається ситуація, коли цікаве значення деякого параметра  $y$  є функцією  $N$  змінних  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , а експерименти з визначення  $y$  при всіх можливих поєднаннях значень цих змінних не були проведені за технічними, економічними чи іншими причинами. Крім того, крок зміни параметрів експериментів великий і, у

багатьох випадках, не є незмінним. В результаті знижується точність визначення параметра поза вузлами опорної сітки змінних  $x$ .

Наприклад, експерименти щодо визначення відносної швидкості старіння целюлозної ізоляції обмоток силового трансформатора тривають місяцями і роками і не були проведені у всьому робочому діапазоні поєднань температур, вологості та доступу кисню до ізоляції. Крок зміни вологості в експериментальних даних становить від 1,0 % до 2,0 %, крок зміни температури – 6°C. При зміні вологості на 2% та постійних значеннях інших параметрів відносна швидкість старіння змінюється у 2,5-3 рази [1]. Така невизначеність функції ускладнює її використання з метою прогнозування залишкового ресурсу ізоляції.

**Основний матеріал.** Мета роботи: підвищення точності визначення значення функції обмежених експериментальних даних. Для формалізації завдання введемо такі позначення:  $[x_{nmin}, x_{nmax}]$ ,  $n = 1, N$  – область визначення функції  $y$ ;  $P_n = \{x_{nm}\}$ ,  $n=1, N$ ,  $m = 1, M$  – область визначення функції  $y$ ;  $P_{ne}$  – множина точок в яких функцію  $y$  визначено експериментально,  $P_{ne} \subset P_n$ ;  $Y_e$  – множина значень функції  $y$ , які визначені експериментально;  $Y$  – множина значень функції  $y$ , які визначені на множині  $P_n$ .

Таким чином, завдання роботи формулюється наступним чином: за значеннями функції  $Y_e$  на множині  $P_{ne}$  визначити множину  $Y$  значень цієї функції в області її визначення  $[x_{nmin}, x_{nmax}]$ ,  $n = 1, N$  з необхідним кроком зміни аргументів.

У загальному вигляді ця задача не має рішення чи має безліч розв'язків. Тому розглянемо практично важливий окремий випадок з урахуванням наступних обмежень:

1. У всій області визначення функція та незалежні змінні набувають лише невід'ємних значень.
2. Вклади незалежних змінних у значення функції  $y$  додаються.
3. Зі зростанням значення  $n$ -й ( $n = 1, N$ ) незалежної змінної, при постійному значенні інших змінних, значення функції зростає.
4. Якщо  $x_{nmin} = 0$ , то вклад цієї змінної у значення функції дорівнює нулю.

З урахуванням наведених вище обмежень, класифікуємо наявні експериментальні дані:

1. Значення всіх  $N$  аргументів не дорівнюють нулю. Тобто  $n$ -й ( $n = 1, N$ ) аргумент робить внесок  $u_n$  у значення функції  $y = y_1 + y_2 + \dots + y_N$ .

2. Значення всіх аргументів крім  $n$ -го дорівнюють нулю. Тоді значення функції  $y = y_n$ .

3. Значення всіх аргументів крім  $n$ -го та  $m$ -го дорівнюють нулю. Тоді значення функції  $y = y_n + y_m$ . Для знаходження вкладу  $y_n$  екстраполюємо функцію  $y$  в точку де  $x_m = 0$  і значення решти аргументів крім  $x_n$  дорівнюють нулю. Тоді значення функції у цій точці  $y = y_n$ . Екстраполяція значень функції  $y$  на аргумент  $x_m = 0$  проводилася за допомогою методу 'spline' функції *interp2* пакета Matlab для опорної сітки вузлів з рівномірним кроком, отриманої за допомогою

Функції *griddata* з методом ``cubic` :yq=interp2(xn,xm,y,xnq,xmq,`spline`)`

Застосування цих функцій потребує наявності хоча б трьох значень функції  $y = f(x_n)$  при постійних значеннях інших аргументів.

4. Далі аналізуємо дані функції  $y$  для яких лише три аргументи мають не нульові значення, наприклад  $x_1$ ,  $x_2$  та  $x_3$ . Але вклад двох з них (наприклад,  $y_1$  та  $y_2$ ) у функцію  $y$  відомий. Звідки  $y_3 = y - y_1 - y_2$ .

5. Після визначення вкладів  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  переходимо до визначення вкладу  $y_4$  тощо до визначення вкладів всіх аргументів у функцію  $y$ .

В описаному вище прикладі щодо визначення відносної швидкості старіння целюлозної ізоляції обмоток силового трансформатора ця швидкість є функцією у трьох змінних:  $x_1$ -температура,  $x_2$  - вологість,  $x_3$  - наявність кисню. Експериментальні дані є для 11 значень  $x_1$  для трьох значень  $x_2$  при  $x_3 = 0$  для одного значення  $x_2$  при  $x_3$  відмінному від нуля. Усього маємо 44 експериментальні значення функції  $y$ . Внаслідок застосування запропонованої методики кількість значень функції  $y$  зростає до 198 [2].

**Висновки.** З використанням функцій Matlab виконана інтерполяція та екстраполяція експериментальних даних практично важливого класу функції  $y$  багатьох змінних. Визначено внесок кожного аргументу у значення функції  $y$  і на цій основі кількість значень функції збільшено в 4,5 рази, що дозволило підвищити точність визначення функції  $y$  у вузлах зі значеннями аргументів, що відрізняються від параметрів експерименту.

## ЖИТЕПАТҮПА / REFERENCE

1. IEC 60076-7 Edition 2.0 2018-01. Power transformers – Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers, 2018.
2. M. Poliakov, V. Vasylevskyi and O. Poliakov, "Evaluation of the Relative Aging Rate of the Insulation of the Mineral-Oil-Immersed Power Transformer According to the Data of the IEC 60076–7 Standard," in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 31, no. 1, pp. 102-110, Feb. 2024, doi: 10.1109/TDEI.2023.3338582.

### METHOD FOR INTERPOLATION AND EXTRAPOLATION OF DATA WITH UNEVEN STEP OF CHANGING EXPERIMENTAL PARAMETERS

Mykhailo Poliakov, Volodymyr Vasylevskyi, Oleksii Poliakov

**Abstract.** *The problem with using experimental data is the limited range and uneven measurement step for individual variables. This reduces the accuracy of determining the value of the desired function. The method of further research is to increase the number of values of the sought function based on limited experimental data. The research method involves developing a methodology for interpolation and extrapolation of experimental data using the functions of the Matlab package. The result of the investigation is that the technique allows you to create a uniform grid of reference values, fill it with the required step of changing variables, extrapolate data to the boundaries of the data space, where the influence of a given argument on the function is zero, isolate the contribution of individual arguments to the value of the function, synthesize the value of the function in new nodes reference grid of values The application of a standardized method was introduced to form a space of values of the relative rate of aging of cellulose insulation of power transformer windings as a function of temperature, humidity and oxygen access, which made it possible to increase the amount of data at least 4 times compared to the experiment.*

**Keywords:** *experimental data processing, interpolation, extrapolation, Matlab functions, insulation aging rate.*