

# ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОХИБКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ ВІД ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ

## DEPENDENCE OF NEURAL NETWORKS TEMPERATURE PREDICTION ERROR ON MEASUREMENT ERROR

Лопатко О. О., інж.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна; e-mail: olha.o.lopátko@lpnu.ua

Olha Lopátko

Lviv Polytechnic National University, Ukraine; mail: olha.o.lopátko@lpnu.ua

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2018.04.042>

**Анотація.** У роботі подано результати дослідження залежності похибки прогнозування значення температури нейронними мережами від похибки вимірювання. Описано алгоритм створення тестових послідовностей та навчання нейронних мереж. Наведено результати дослідження залежності похибки прогнозування значення температури від мультиплікативної, нелінійної та випадкової складових похибки, а також описано результати дослідження залежності похибки прогнозування значення температури від одночасного впливу цих складових.

**Ключові слова:** нейронна мережа, прогнозування значення температури, перехідний процес, температура.

**Abstract.** The current article describes the results of the study of the neural networks temperature prediction error dependence on measurement errors, which are random, nonlinear and multiplicative errors. It is noted applicability of the architecture of neural network for temperature prediction. The formula of temperature step response for ideal sensor is given.

At the very beginning an algorithm for calculating and creating test sequences for neural network training is developed. The studies described in this article are implemented in the computing environment. There are given formulas and figures of measurement errors models. After considering the measurement error, which neural networks were trained and verified with the training set.

The results of the study of the temperature prediction error dependence on the multiplicative measurement error and nonlinear measurement error are presented. They allow conclude that raising the measurement errors with the prediction errors increase. As the result, for the maximal measurement error (2.5 %) an absolute temperature prediction error is achieved at the level lower than  $5 \cdot 10^{-5}$  °C. The results of the similar studies of dependence on the random measurement error are presented. They underline the mentioned errors increasing with the prediction error. For random measurement error (0.5 %) absolute temperature prediction error is of 0.5 °C and for 2.5 % random measurement error absolute temperature prediction error is of 1.5 °C.

It is described also the study of the temperature prediction error dependence on the aforesaid three types of measurement errors.

The major conclusion of the received results (the dependences of the temperature prediction error on the measurement errors) consists in the next. The prediction temperature value slightly depends on multiplicative and nonlinear errors. In addition, the main impact on neural network temperature prediction error is caused by the random error.

**Key words:** Neural Network, Temperature Prediction, Step Response, Temperature.

### Вступ

У роботі розглянуто результати дослідження, що стосуються прогнозування значення температури за перехідним процесом із використанням нейронної мережі прямого розповсюдження (рис. 1).

Застосовано модель температурного перехідного процесу для первинного перетворювача, що описується виразом [1, 2]:

$$T(t) = T_p + (T_0 - T_p)(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

де  $t$  – час;  $\tau$  – стала часу первинного перетворювача;  $T_0$  – температура об'єкта вимірювання;  $T_p$  – початкове значення температури первинного перетворювача;  $T$  – поточне значення температури.

Дані, на основі яких здійснено прогнозування температури, враховують похибку вимірювання (нелінійна, мультиплікативна та випадкова складові). Отже, під час опрацювання результатів прогнозу-

вання нейронною мережею виникає додаткова похибка, спричинена похибкою вимірювання перехідного процесу.

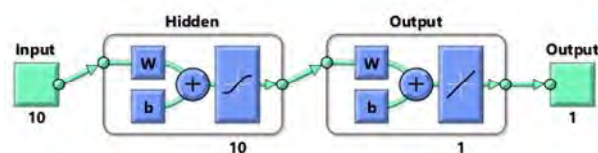


Рис. 1. Архітектура нейронної мережі прямого розповсюдження

Fig. 1. Feedforward neural network architecture

### Мета роботи

Мета роботи – дослідити залежність похибки прогнозування температури нейронними мережами від похибки вимірювання.

**Дослідження залежності похибки прогнозування температури нейронними мережами**

У статті розглянуто нейронну мережу з архітектурою прямого розповсюдження [3, 4], що має два шари [5]. Під час досліджень здійснено моделювання температурного перехідного процесу за виразом (1) для значень температури об'єкта в діапазоні від 200 до 220 °C з кроком  $\Delta T_o = 0,5$  °C [5], де значення часу  $t$  змінювалось від 0 до  $t_{vym}$ . За час вимірювання  $t_{vym}$  розраховано  $n$  значень температури перехідного процесу, тобто нейронна мережа мала  $n$  входів. Кожному значенню температури об'єкта вимірювання відповідає певна тестова послідовність  $ТП_i$ .

Для дослідження впливу похибок вимірювання на похибку прогнозування значення температури використано моделі (рис. 2) мультиплікативної та нелінійної [6] складової похибок, які потім були додані до значень ідеального температурного перехідного процесу (вираз (1)). Задано відносну похибку, за нею розраховано максимальне значення абсолютної похибки кожної зі складових, а конкретна залежність похибки від значення температури випадковим способом генерувалася так, що максимальне значення конкретної залежності містилось у діапазоні від  $\Delta_{max}$  до  $\Delta_{min}$ .

Абсолютну мультиплікативну похибку  $\Delta_m$  розраховано за формулою:

$$\Delta_m = d_m \cdot T / 100, \tag{2}$$

де  $d_m$  – відносна мультиплікативна похибка;  $T$  – поточне значення температури.

Абсолютну нелінійну похибку  $\Delta_n$  розраховано за формулою:

$$\Delta_n = aT^2 + bT + c, \tag{3}$$

де  $a, b$  – коефіцієнти, що залежать від відносної нелінійної похибки  $\delta_n$ .

Абсолютну випадкову похибку  $\Delta_{rand}$  розраховано за формулою:

$$\Delta_{rand} = T \cdot 2 \cdot (rand - 0,5) d_{rand} / 100, \tag{4}$$

де  $rand$  – випадкове число від 0 до 1;  $d_{rand}$  – відносна випадкова похибка.

Значення температури із урахуванням випадкової похибки вимірювання для кожної складової обчислено за виразом:

$$T_v = T + \Delta_v, \tag{5}$$

де  $\Delta_v$  набуває значення мультиплікативної  $\Delta_m$  або нелінійної  $\Delta_n$  або випадкової  $\Delta_{rand}$  складової похибки вимірювання.

Проведено три дослідження, під час кожного з яких нейронна мережа навчалась на масиві отриманих тестових послідовностей із урахуванням однієї зі складових похибки вимірювання.

Надалі навчену нейронну мережу використано для прогнозування значення температури за перехідним процесом та розраховано абсолютну похибку прогнозування  $\Delta T$  за формулою:

$$\Delta T = T_{PR} - T_o, \tag{6}$$

де  $T_{PR}$  – прогнозоване значення температури;  $T_o$  – температура об'єкта вимірювання для цієї тестової послідовності.

На рис. 3 подано залежність похибки прогнозування значення температури від мультиплікативної складової похибки  $\delta_m$ , яка набувала значення від 0,25 % до 2 %.

Із рис. 3 видно, що зі збільшенням значення мультиплікативної складової похибки похибка прогнозування значення температури зростає, проте навіть за 2 % мультиплікативної похибки похибка прогнозування не перевищує  $1,4 \cdot 10^{-5}$  °C.

На рис. 4 наведено залежність похибки прогнозування значення температури від нелінійної складової похибки вимірювання.

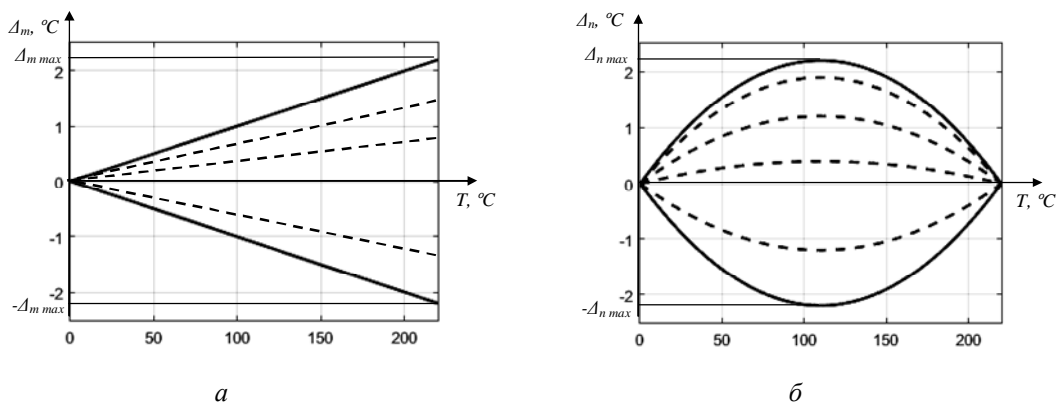


Рис. 2. Моделі похибок: а – мультиплікативна; б – нелінійна

Fig. 2. Error models: a – multiplicative; b – nonlinear

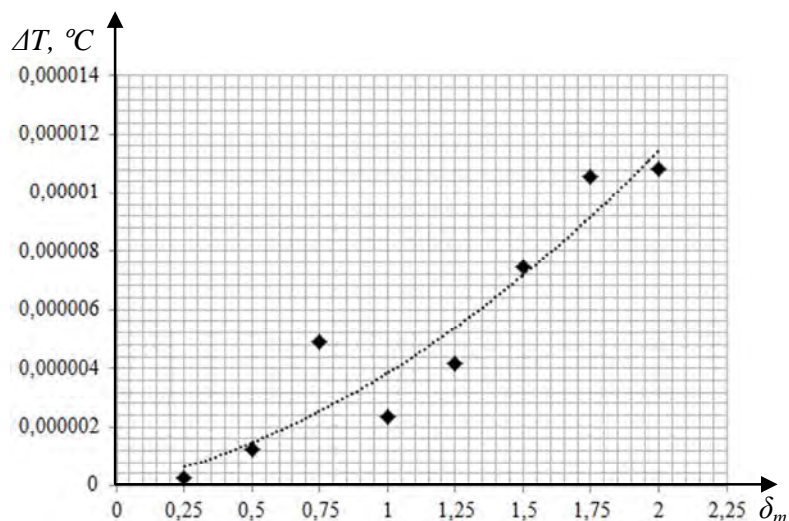


Рис. 3. Залежність похибки прогнозування значення температури від мультиплікативної складової похибки вимірювання

Fig. 3. Temperature prediction error dependence on multiplicative error

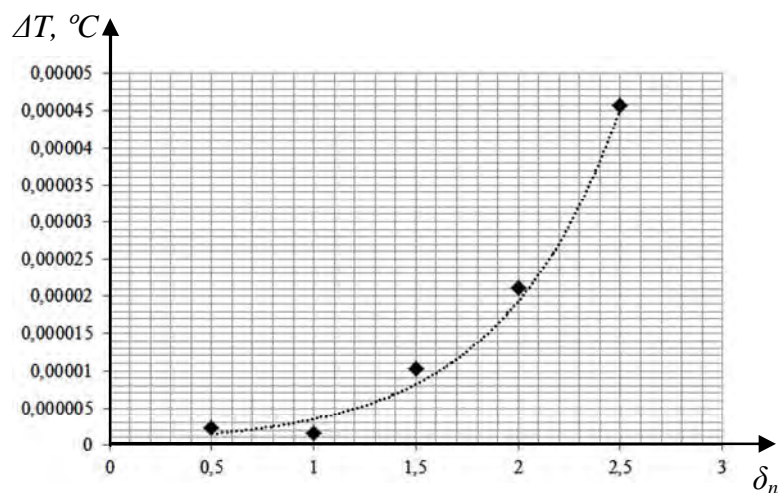


Рис. 4. Залежність похибки прогнозування значення температури від нелінійної складової похибки вимірювання

Fig. 4. Temperature prediction error dependence on nonlinear error

Із графіка (рис. 4) видно, що зі збільшенням значення нелінійної складової зростає значення похибки прогнозування, проте за 2,5 % нелінійної похибки похибка прогнозування не перевищує  $5 \cdot 10^{-5}$  °C.

На рис. 5 наведено залежність похибки прогнозування значення температури від випадкової складової похибки вимірювання. Нейронна мережа навчена на значеннях перехідного процесу, що враховують похибку вимірювання, а потім перевірена на послідовностях, на яких не була навчена.

Із рис. 5 видно, що зі збільшенням випадкової похибки похибка прогнозування зростає. Для значення випадкової похибки 0,5 % абсолютна похибка прогнозування температури 0,5 °C, а для 2,5 % не перевищує 1,5 °C.

Проведено також дослідження залежності (рис. 6) похибки прогнозування значення температури одночасно від випадкової, нелінійної та мультиплікативної складових похибки вимірювання.

Із рис. 6 видно, що при значенні похибки 0,5 % абсолютна похибка прогнозування температури 0,53 °C, а для 2,5 % не перевищує 1,6 °C.

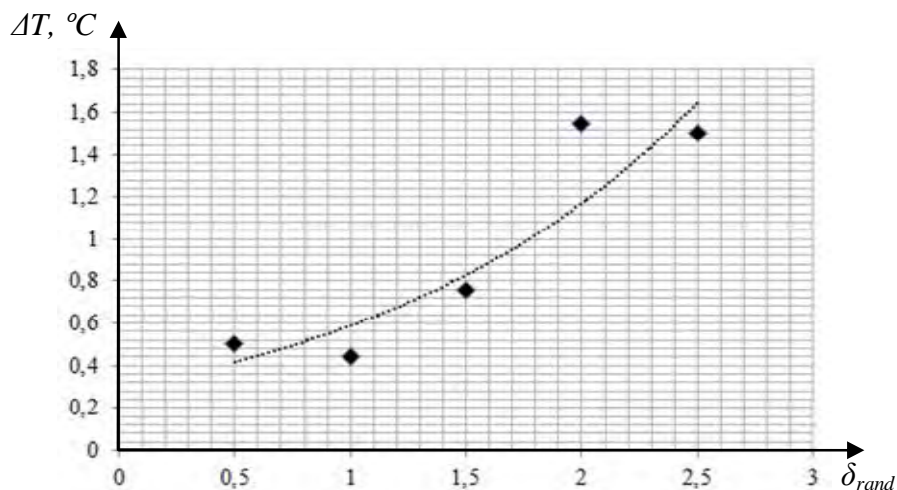


Рис. 5. Залежність похибки прогнозування значення температури від випадкової складової похибки вимірювання

Fig. 5. Temperature prediction error dependence on random error

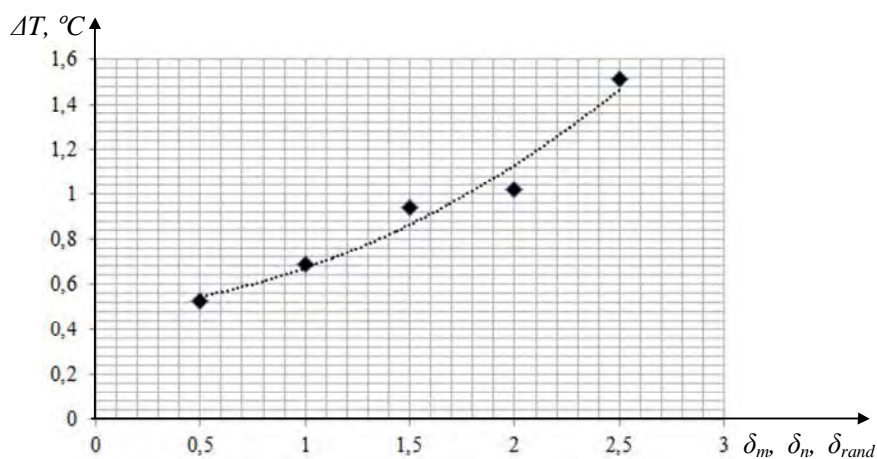


Рис. 6. Залежність похибки прогнозування значення температури від сумарної похибки (випадкової, нелінійної та мультиплікативної складових одночасно)

Fig. 6. Temperature prediction error dependence on total error (random, nonlinear and multiplicative simultaneously)

Отримані результати підтверджують результати попередніх досліджень: мультиплікативна та нелінійна складові неістотно впливають на результат прогнозування, а основним є вплив випадкової складової.

### Висновки

У статті наведено результати дослідження залежності похибки прогнозування значення температури від мультиплікативної, нелінійної та випадкової похибок вимірювання.

Дослідження показали, що мультиплікативна та нелінійна складові майже не впливають на похибку прогнозування температури, їх значення не перевищує  $5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ C$ .

Істотно впливає на похибку прогнозування випадкова складова похибки вимірювання, за значення випадкової похибки 0,5 % значення абсолютної похибки прогнозування температури  $0,5 \text{ } ^\circ C$ , а для 2,5 % – не перевищує  $1,6 \text{ } ^\circ C$ .

Дослідження залежності похибки прогнозування значення температури одночасно від

випадкової, нелінійної та мультиплікативної складових похибки вимірювання підтвердили отримані результати: мультиплікативна та нелінійна складові несуттєво впливають на результат прогнозування, а основний вплив справляє випадкова складова.

### Список літератури

[1] F. Bernhard, *Handbuch der technischen temperaturmessung*, Springer Vieweg, 2014.

[2] Н. Ярышев, *Теоретические основы измерения нестационарной температуры*, Ленинград: Энергоатомиздат, 1990.

[3] D. Kriesel. *A Brief, Introduction to Neural Networks*, 2007. [On-line], Available: [http://www.dkriesel.com/en/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks).

[4] R. Bordawekar, B. Blainey, R. Puri, *Analyzing Analytics*. Morgan & Claypool Publishers, 2015.

[5] О. Лопатко, І. Микитин, “Похибки прогнозування значення температури нейронними мережами за ідеальним перехідним процесом”, *Вимірювальна техніка та метрологія*, вип. 78, с. 20–24, 2017.

[6] М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, *Основи метрології та вимірювальної техніки у двох томах, т. 1*. Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2005.

### References

[1] F. Bernhard, *Handbuch der technischen temperaturmessung*, Springer Vieweg, 2014.

[2] N. Yaryshev, *Theoretical basis for measuring non-stationary temperature*, Leningrad, USSR: Energoatomizdat, 1990.

[3] D. Kriesel. *A Brief, Introduction to Neural Networks*, 2007. [On-line], Available: [http://www.dkriesel.com/en/science/neural\\_networks](http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks).

[4] R. Bordawekar, B. Blainey, R. Puri, *Analyzing Analytics*. Morgan & Claypool Publishers, 2015.

[5] O. Lopatko, I. Mykytyn, “Temperature value prediction errors using neural networks and ideal transition process”, *Measuring equipment and metrology*, vol. 78, p. 20–24. 2017.

[6] M. Dorozhovets, V. Motalo, B. Stadnyk, *Fundamentals of metrology and measuring technique*, vol. 1. Lviv, Ukraine: Publ. House Lviv Pol. Nat. Univ., 2005.