

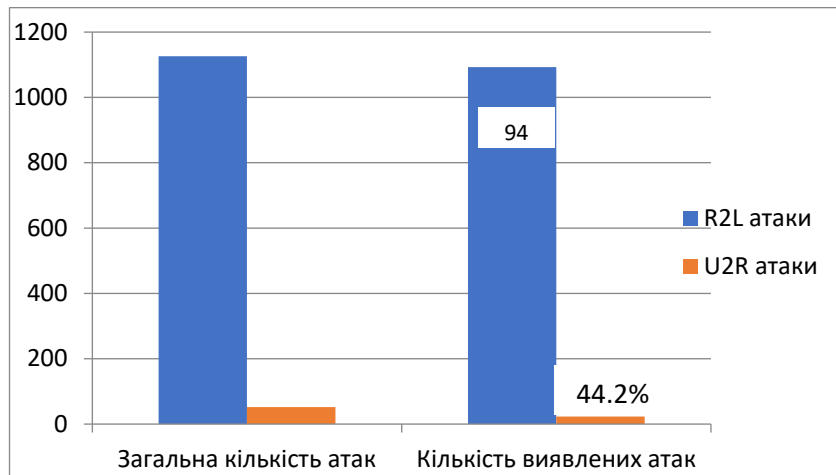


Рис. 5. Діаграма виявлених кібератак

Abstract. The paper investigates the structure of a neural network for predicting and detecting User to Root (U2R) and Remote to Local (R2L) cyberattacks on a critical infrastructure enterprise, as well as its implementation based on Python software.

Keywords: neural network, cyber attack, U2R, R2L, KDD99, multilayer perceptron, neural network learning.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kuang F., Xu W., Zhang S. A novel hybrid KPCA and SVM with GA model for intrusion detection. *Applied Soft Computing*. 2014. Vol. 18. P. 178–184.
2. Packet Header Intrusion Detection with Binary Logistic Regression Approach in Detecting R2L and U2R Attacks / M. H. Kamarudin, C. Maple, T. Watson, H. Sofian. *2015 Fourth International Conference on Cyber Security, Cyber Warfare, and Digital Forensic (CyberSec)* (Jakarta, Indonesia, 2015). P. 101–106. DOI: 10.1109/CyberSec.2015.28.
3. Kumar S., Yadav A. Increasing performance Of intrusion detection system using neural network. *2014 IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies* (Ramanathapuram, India, 2014). P. 546–550. DOI: 10.1109/ICACCCT.2014.7019145.
4. Detecting Abnormal Traffic in Large-Scale Networks / M. S. Elsayed, N.-A. Le-Khac, S. Dev, A. D. Jurcut. *2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)* (Montreal, QC, Canada, 2020). P. 1–7. DOI: 10.1109/ISNCC49221.2020.9297358.
5. Implementation of Network Attack Detection using Convolutional Neural Network / Y. F. Sallam, H. E.-d. H. Ahmed, A. Saleeb, N. A. El-Bahnasawy, F. E. A. El-Samie. *2021 International Conference on Electronic Engineering (ICEEM)* (Menouf, Egypt, 2021). P. 1–6. DOI: 10.1109/ICEEM52022.2021.9480645.
6. Shrivastava U., Sharma N. Artificial Neural Network based Dual Layered Predictive Model for Rare Attack Detection. *2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE)* (Shillong, India, 2020). P. 146–152. DOI: 10.1109/ComPE49325.2020.9200134.
7. Swingler K. Lecture 4: Multi-Layer Perceptrons. URL: <http://www.cs.stir.ac.uk/courses/ITNP4B/lectures/kms/4-MLP.pdf>
8. KDD Cup 1999 Data. URL: <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html>

УДК 004:005:51

МЕТОД ДИХОТОМІЇ ПРИ ЗНАХОДЖЕННІ КОРЕНІВ АПРОКСИМОВАНОЇ ФУНКЦІЇ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ МЕТРИК ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОННОЇ ПРОДУКЦІЇ

Б. М. Ярошенко, Н. А. Потапова

Анотація. Стаття присвячена дослідженню використання методу дихотомії для знаходження коренів апроксимованої функції, що описує зв'язок між доданою вартістю суб'єктів господарювання України та капітальними інвестиціями у виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції. На основі статистичних даних за 2014–2023 рр. проведено апроксимацію залежності. Для знаходження кореня використано метод дихотомії, що дало змогу ітераційним способом уточнити значення точки переходу. Побудовано графічну інтерпретацію отриманих результатів та проведено оцінку похибки. За результатами дослідження підтверджено ефективність застосування методу дихотомії для аналізу подібних залежностей.

Ключові слова: методи обчислень, метод дихотомії, апроксимація, корінь рівняння, похибка.

Вступ. Метод дихотомії, відомий також як метод половинного поділу, є одним із фундаментальних чисельних методів для знаходження коренів нелінійних рівнянь. Завдяки його простоті, надійності та гарантованій збіжності його досі часто використовують і роблять його важливим інструментом у чисельних обчисленнях.

Метод дихотомії є одним із найпростіших і найнадійніших чисельних методів для розв'язання нелінійних рівнянь. Його основна перевага полягає в гарантованій збіжності за умови, що функція є неперервною на заданому інтервалі та змінює знак на його кінцях. Це робить метод особливо корисним у випадках, коли інші методи, як-от метод Ньютона або метод хорд, можуть не збігатися або вимагати складних обчислень похідних [1]. У сучасних обчислювальних системах метод дихотомії широко використовується завдяки його простоті та ефективності. Він застосовується в різних галузях науки та техніки, включно з фізикою, інженерією та економікою, для розв'язання задач, де необхідно знайти корені нелінійних рівнянь [2].

У практичних задачах часто виникає необхідність знаходження коренів функцій, які відомі лише в дискретних точках або задані з похибками вимірювань. У таких випадках використовуються методи апроксимації для побудови неперервної функції, яка наближує початкові дані. Однак апроксимовані функції можуть мати складну поведінку, що ускладнює процес пошуку коренів. Застосування методу дихотомії до апроксимованих функцій вимагає ретельного аналізу, оскільки похибки апроксимації можуть впливати на точність визначення коренів. До того ж необхідно враховувати можливі осциляції або інші особливості апроксимованої функції, які можуть призвести до появи додаткових коренів або зникнення наявних.

Метою статті є дослідження напрямів використання методу дихотомії для знаходження кореня апроксимованої функції, що описує причинно-наслідкові зв'язки метрик інвестиційних процесів електронної продукції в Україні.

Основна частина. Метод дихотомії, або метод половинного поділу, є одним із найпростіших та найефективніших чисельних методів знаходження коренів рівнянь [3]. Його суть полягає в поступовому поділі інтервалу, на якому функція змінює знак, доки довжина інтервалу не стане меншою за задану похибку. Основна вимога до застосування методу – функція $f(x)$ має бути неперервною на відрізку $[a, b]$ і задовольняти умову знакоперемінності: $f(a) * f(b) < 0$. Алгоритм роботи методу полягає у виборі середньої точки інтервалу $c = \frac{a+b}{2}$ та перевірці знака функції у цій точці. Якщо $f(c) = 0$, то знайдено корінь рівняння. В іншому випадку відбувається заміна одного з кінців інтервалу:

1) якщо $f(a) * f(c) < 0$, то корінь знаходиться в інтервалі $[a, c]$, тобто новим інтервалом буде $[a, c]$;

2) якщо $f(c) * f(b) < 0$, то корінь міститься у $[c, b]$, отже, новий інтервал $[c, b]$.

Процес повторюється ітераційно доти, поки довжина інтервалу не стане меншою за задану похибку ϵ .

Метод дихотомії відзначається високою стійкістю до шумів у вхідних даних, оскільки він використовує лише знакові зміни функції, а не її похідні. Але його мінусом є його швидкість пошуку, тому що довжина інтервалу скорочується лише вдвічі на кожному кроці, через що цей метод є повільнішим, порівняно з іншими методами, як-от метод Ньютона чи метод хорд, тому рідко використовується для складних задач, де необхідна висока швидкість обчислень. Проте його стабільність робить його ідеальним для перевірки коренів у випадках, коли функція не має аналітичного виразу або є результатом апроксимації [3].

Для дослідження застосування методу дихотомії при знаходженні коренів апроксимованих функцій використовуються дані економіки України за період 2014–2023 рр. Вхідні дані містять такі показники:

– $X(i)$ – Dod_vart_UKR , додана вартість за витратами виробництва суб'єктів господарювання України за видами економічної діяльності (млн грн).

– $Y(i)$ – Inv_IKT , капітальні інвестиції України у виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції (млн грн).

Таблиця 1

Вихідні дані причинно-наслідкового зв'язку між метриками доданої вартості за витратами виробництва та капітальними інвестиціями України у виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції, 2014–2023 рр., млн грн

Роки	Додана вартість за витратами виробництва суб'єктів господарювання України за видами економічної діяльності, $Dod_vart_UKR, x(i)$	Капітальні інвестиції України у виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції, $Inv_IKT, f(x(i))$
2014	1 109 207,30	224,5
2015	1 376 872,90	420,8
2016	1 513 071,90	537,1
2017	1 916 591,50	756,2
2018	2 356 757,20	955,7
2019	2 640 886,40	657,0
2020	3 121 256,50	607,9
2021	3 294 768,50	853,8
2022	4 594 232,30	607,5
2023	3 947 735,80	1 081,3

Джерело: Державна служба статистики України [4]

З метою визначення взаємозв'язку між цими економічними показниками було здійснено апроксимацію залежності у вигляді тригонометричної функції:

$$Inv_IKT = -900,9004 * \cos(0,1387 * Dod_vart_UKR - 2,0048)$$

Апроксимація виконана на основі методів регресійного аналізу, що наближує поведінку вихідних даних. Основною задачею є визначення значення $Dod_vart_UKR(x)$, для якого апроксимована функція метрики Inv_IKT дорівнює нулю: $f(x) = 0$. Для цього розв'язку доцільно застосовувати метод дихотомії з подальшою візуалізацією отриманих результатів. Необхідним є проведення оцінки похибки наближеного рішення шляхом порівняння з іншими чисельними методами. Це дає змогу визначити ефективність використання методу дихотомії для аналізу економічних процесів та можливості його застосування для прогнозування майбутніх економічних показників [4].

На основі експериментального дослідження значень цієї функції зв'язку встановлено, що інтервал зміни значень функції зв'язку може знаходитись у межах від $Dod_vart_UKR = x(a) = -11092070,00$ до $Dod_vart_UKR = x(b) = 1109207,30$. Отже, відрізок ізоляції [3] знаходиться в межах $[-11092070,00; 1109207,30]$. Дані оцінювання відрізка ізоляції на множині даних функції зв'язку наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Оцінка даних для пошуку відрізка ізоляції функції причинно-наслідкового зв'язку між метриками доданої вартості за витратами виробництва (Dod_vart_UKR) та капітальними інвестиціями України у виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції (Inv_IKT)

$Dod_vart_UKR, x(i)$	$Inv_IKT, y(i)$
-12 600 000,00	-781,29
-12 200 000,00	-648,18
-12 000 000,00	-566,32
-11 092 070,00	-595,49
1 109 207,30	119,17
1 376 872,90	320,30
1 513 071,90	480,68
1 916 591,50	816,07
2 356 757,20	881,55
2 640 886,40	848,97
3 121 256,50	802,48
3 294 768,50	713,12
4 594 232,30	694,66
3 947 735,80	859,41

Уточнення кореня рівняння на відрізьку ізоляції проводиться методом дихотомії, сутність якого полягає у відтворенні ітераційного процесу для поступового звуження інтервалу. На кожній ітерації обчислюється середня точка $x_c = \frac{a+b}{2}$ та перевіряється знак функції в новій точці. Якщо $f(x_c) \approx 0$ алгоритм завершується, і знайдене значення розглядається як корінь рівняння. В іншому випадку інтервал пошуку зменшується відповідно до класичних правил методу. Процес ітерацій продовжувався доти, поки похибка не досягає необхідного рівня точності. Отримані результати ітераційного процесу представлено в табл. 3 і 4.

Табл. 3 і 4 показують процес поступового звуження відрізьку ізоляції методом дихотомії. Початковий діапазон значень функції $f(x)$ був визначений у межах $[-11092070; 1108207,3]$. На кожній ітерації метод поступово уточнює середню точку (с) та обирає новий підінтервал залежно від знака $f(c)$. У підсумку на 36-й ітерації метод дихотомії зійшовся до кореня: $x = -4509605,011$, яке можна вважати коренем рівняння із точністю $1 \cdot 10^{-5}$.

Таблиця 3

**Дані проведення ітераційного процесу методу дихотомії.
Значення функції на половинному відрізьку**

№	f(xa)	x(a)	x(b)	f(xb)
0	-595,49173	-11 092 070	1 109 207,3	119,1721
1	-819,858443	-4 991 431,35	1 109 207,3	119,1721
2	-819,858443	-4 991 431,35	-1 941 112,025	436,1456
3	-819,858443	-4 991 431,35	-3 466 271,688	611,7264
4	-819,858443	-4 991 431,35	-4 228 851,519	177,6418
5	-705,621421	-4 610 141,434	-4 228 851,519	177,6418
6	-705,621421	-4 610 141,434	-4 419 496,477	309,4995
7	-730,45227	-4 514 818,955	-4 419 496,477	309,4995
8	-730,45227	-4 514 818,955	-4 467 157,716	264,0099
9	-730,45227	-4 514 818,955	-4 490 988,336	732,4536
10	-730,45227	-4 514 818,955	-4 502 903,646	1,714164
11	-730,45227	-4 514 818,955	-4 508 861,301	409,4582
12	-683,991536	-4 511 840,128	-4 508 861,301	409,4582
13	-174,706293	-4 510 350,714	-4 508 861,301	409,4582
14	-124,21955	-4 509 606,007	-4 508 861,301	409,4582
15	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 233,654	859,303
16	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 419,831	481,3686
17	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 512,919	190,1702
18	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 559,463	33,4898
19	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 582,735	45,54011
20	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 594,371	896,8852
21	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 600,189	558,7486
22	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 603,098	236,2531
23	-124,21955	-4 509 606,007	-4 509 604,553	57,17743
24	-33,6924794	-4 509 605,28	-4 509 604,553	57,17743
25	-33,6924794	-4 509 605,28	-4 509 604,917	11,75744
26	-10,9710104	-4 509 605,098	-4 509 604,917	11,75744
27	-10,9710104	-4 509 605,098	-4 509 605,007	0,393247
28	-5,28898713	-4 509 605,053	-4 509 605,007	0,393247
29	-2,44788239	-4 509 605,03	-4 509 605,007	0,393247
30	-1,02731912	-4 509 605,019	-4 509 605,007	0,393247
31	-0,31703626	-4 509 605,013	-4 509 605,007	0,393247
32	-0,31703626	-4 509 605,013	-4 509 605,01	0,038105
33	-0,13946565	-4 509 605,012	-4 509 605,01	0,038105
34	-0,05068024	-4 509 605,011	-4 509 605,01	0,038105
35	-0,00628754	-4 509 605,011	-4 509 605,01	0,038105

Джерело: розраховано авторами

**Дані проведення ітераційного процесу методу дихотомії.
Оцінка вибору половинного відрізка**

xc	f(xc)	e=xa-xb	f(xa)*f(xc)	f(xc)*f(xb)
-4 991 431,35	-819,858	-12 201 277,3	488 218,9226	-97 704,2679
-1 941 112,025	436,1456	-6 100 638,65	-357 577,6567	51 976,3959
-3 466 271,688	611,7264	-3 050 319,325	-501 529,0898	266 801,8
-4 228 851,519	177,6418	-1 525 159,663	-145 641,0907	108 668,158
-4 610 141,434	-705,621	-762 579,8313	578 509,6798	-125 347,826
-4 419 496,477	309,4995	-381 289,9156	-218 389,5029	54 980,0401
-4 514 818,955	-730,452	-190 644,9578	515 422,7692	-226 074,639
-4 467 157,716	264,0099	-95 322,47891	-192 846,6315	81 710,942
-4 490 988,336	732,4536	-47 661,23945	-535 022,4286	193 375,014
-4 502 903,646	1,714164	-23 830,61973	-1 252,114628	1 255,54531
-4 508 861,301	409,4582	-11 915,30986	-299 089,68	701,878325
-4 511 840,128	-683,992	-5 957,654932	499 623,1706	-280 065,951
-4 510 350,714	-174,706	-2 978,827466	119 497,6258	-71 534,9263
-4 509 606,007	-124,22	-1 489,413733	21 701,93715	-50 862,7148
-4 509 233,654	859,303	-744,7068665	-106 742,2346	351 848,677
-4 509 419,831	481,3686	-372,3534332	-59 795,39618	413 641,528
-4 509 512,919	190,1702	-186,1767166	-23 622,86026	91 541,9847
-4 509 559,463	33,4898	-93,08835831	-4 160,088313	6 368,76357
-4 509 582,735	45,54011	-46,54417915	-5 656,971372	1 525,12917
-4 509 594,371	896,8852	-23,27208958	-111 410,6813	40 844,2482
-4 509 600,189	558,7486	-11,63604479	-69 407,50471	501 133,409
-4 509 603,098	236,2531	-5,818022394	-29 347,25069	132 006,084
-4 509 604,553	57,17743	-2,909011197	-7 102,555026	13 508,3444
-4 509 605,28	-33,6925	-1,454505599	4 185,264633	-1 926,44949
-4 509 604,917	11,75744	-0,7272528	-396,137347	672,260311
-4 509 605,098	-10,971	-0,3636264	369,640543	-128,991011
-4 509 605,007	0,393247	-0,1818132	-4,314314757	4,62357616
-4 509 605,053	-5,28899	-0,0909066	58,02553297	-2,07987727
-4 509 605,03	-2,44788	-0,045453301	12,94681844	-0,96262192
-4 509 605,019	-1,02732	-0,02272665	2,514756389	-0,40398996
-4 509 605,013	-0,31704	-0,011363326	0,325697412	-0,12467349
-4 509 605,01	0,038105	-0,005681663	-0,01208072	0,01498474
-4 509 605,012	-0,13947	-0,002840831	0,044215669	-0,00531436
-4 509 605,011	-0,05068	-0,001420416	0,007068153	-0,00193118
-4 509 605,011	-0,00629	-0,000710208	0,000318654	-0,00023959
-4 509 605,01	0,015909	-0,000355104	-0,000100028	0,00060621

Джерело: розраховано авторами

Отриманий розв'язок підтверджує можливість використання методу дихотомії для розв'язання рівнянь з метою пошуку нульової точки. Незважаючи на повільну збіжність, метод виявився стійким до можливих статистичних шумів та забезпечив надійний пошук кореня рівняння.

Висновки. За результатами дослідження виявлено, що метод дихотомії є ефективним інструментом для знаходження коренів апроксимованих функцій, особливо коли розв'язок рівняння не можна знайти аналітично. На основі аналізу економічних показників України за 2014–2023 рр. було визначено залежність між доданою вартістю та інвестиціями у виробництво комп'ютерів та електронної продукції, що допомогло краще зрозуміти динаміку розвитку галузі та її фінансових потоків. Метод дихотомії дав змогу уточнити значення кореня функції та оцінити похибку розрахунків, що підтверджує його доцільність для використання у подібних задачах. Отримані результати можуть бути застосовані для прогнозування критичних рівнів інвестицій, за яких спостерігається стабільність або зміна тенденцій у розвитку сектору. До того ж це показує, що числові методи, включно з методом дихотомії, є важливими інструментами для економічного прогнозування та аналізу складних систем, що підкреслює їх значущість у фінансових дослідженнях [5].

Abstract. The article is devoted to the study of the dichotomy method for finding the roots of an approximated function that describes the relationship between the added value of Ukrainian business entities and capital investments in the production of computers, electronic, and optical products. Based on statistical data from 2014 to 2023. The dichotomy method was applied to iteratively refine the root value. A graphical interpretation of the obtained results was constructed, and the error estimation was carried out. As a result of the study, the effectiveness of the dichotomy method for analyzing such economic dependencies was confirmed.

Keywords: calculation methods, dichotomy method, approximation, root of the equation, error.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Харченко Д. С. Метод дихотомії у чисельних розрахунках. *Наукові записки молодих учених*. Кропивницький: РВВ ЦДУ ім. В. Винниченка, 2018. № 1. URL: <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/1399>
2. Павлов Д. Л., Потапова Н. А. Використання методу дихотомії для розв'язку прикладних задач. *Прикладні інформаційні технології*: матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (22 квітня 2022 р., м. Вінниця). Донецький національний університет імені Василя Стуса, 2022. С. 26–28. URL: <https://jait.donnu.edu.ua/article/view/12244>
3. Волонтир Л. О., Зелінська О. В., Потапова Н. А., Чіков І. А. Чисельні методи: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 322 с. URL: <http://repository.vsau.org/getfile.php/27703.pdf>
4. Використання інформаційно-комунікаційних технологій на підприємствах України. *Офіційний сайт Державної служби статистики України*. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zv/ikt/arh_ikt_u.html
5. Колібабчук Д. І., Потапова Н. А. Застосування числових методів в економіці. *Прикладні інформаційні технології*: матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (19 травня 2023 р., м. Вінниця). Донецький національний університет імені Василя Стуса, 2023. С. 26–27. URL: <https://jait.donnu.edu.ua/article/view/13944>