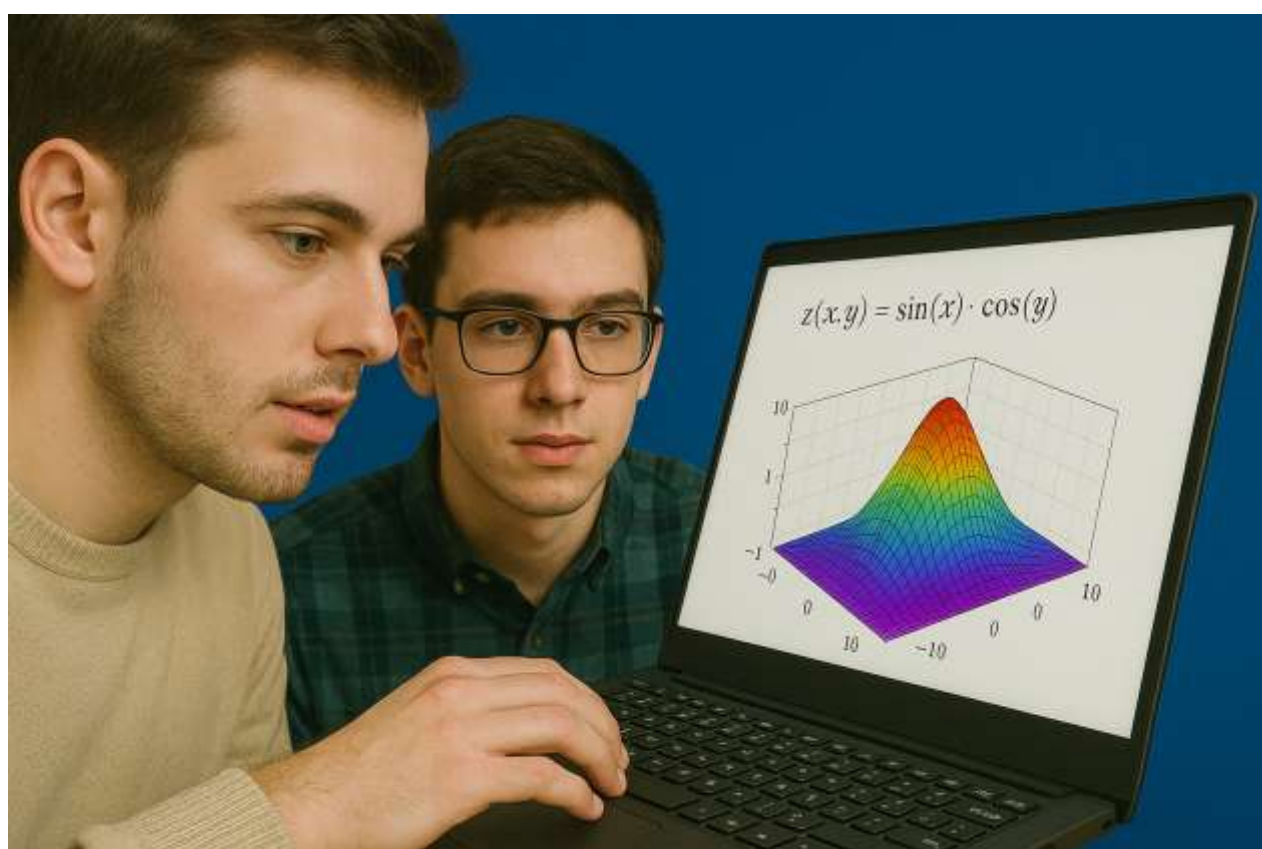


О. Н. Романюк, Є. К. Завальнюк

Графічні засоби візуалізації обчислень у Mathcad



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. Н. Романюк, Є. К. Завальнюк

Графічні засоби візуалізації обчислень у Mathcad

Електронний навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2026

УДК 004.95

P69

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (Протокол № 3 від 30.09.2025 р.)

Рецензенти:

О. Д. Азаров, доктор технічних наук професор, ВНТУ

С. В. Павлов, доктор технічних наук професор, ВНТУ

А. В. Пукас, доктор технічних наук доцент, ЗУНУ

Романюк, О. Н.

P69 Графічні засоби візуалізації обчислень у Mathcad : навчальний посібник [Електронний ресурс] / О. Н. Романюк, Є. К. Завальнюк. – Вінниця : ВНТУ, 2026. – (PDF, 109 с.)

ISBN 978-617-8163-87-7 (PDF)

У посібнику систематизовано теоретичні основи та практичні прийоми побудови 2D-, 3D- та полярних графіків. Особливу увагу приділено налаштуванню графічних параметрів, роботі з векторними та матричними даними, інтерполяції, апроксимації та екстраполяції функцій. Посібник містить приклади інтерактивного моделювання, імпорту даних із зовнішніх файлів і створення професійної візуалізації для наукових звітів. Посібник розраховано для підготовки аспірантів і магістрів спеціальності F2 «Інженерія програмного забезпечення».

УДК 004.95

ISBN 978-617-8163-87-7 (PDF)

©ВНТУ, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ВИБІР ТИПУ ГРАФІКА У MATHCAD	6
1.1 Вибір типу графіка за допомогою пункту меню Insert	6
1.2 Вибір типу графіка за допомогою панелі Graph	7
1.3 Вибір типу графіка за допомогою комбінацій клавіш	7
2 ПОБУДОВА 2D-ГРАФІКІВ У ДЕКАРТОВІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ У MATHCAD	9
2.1 Декартова система координат і формування 2D-графіків у Mathcad	9
2.2 Основні команди контекстного меню 2D-графіка	19
2.3 Способи переходу до вікна налаштувань формату 2D-графіка	25
2.4 Налаштування формату осей 2D-графіка	26
2.5 Налаштування подання залежностей між даними на 2D-графіку	30
2.6 Налаштування підписів на 2D-графіку	39
2.7 Встановлення налаштувань 2D-графіка за замовчуванням	41
3 ПОБУДОВА ГРАФІКІВ У ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ В MATHCAD	42
3.1 Полярна система координат у Mathcad.....	42
3.2 Налаштування формату графіків у полярній системі координат	43
4 ПОБУДОВА 3D-ГРАФІКІВ У MATHCAD	48
4.1 Тривимірні графіки у Mathcad і способи їх побудови.....	48
4.2 Загальні налаштування та вибір типу відображення 3D-графіка	53
4.3 Налаштування ділянки візуалізації й системи координат 3D-графіка	61
4.4 Налаштування формату осей 3D-графіка	63
4.5 Налаштування формату площин 3D-графіка	65
4.6 Налаштування типу зафарбовування, ліній, точок 3D-графіка.....	67
4.7 Спеціальні налаштування формату 3D-графіка.....	70
4.8 Розширені налаштування формату 3D-графіка.....	75
4.9 Налаштування ефекту освітлення 3D-графіка	79
4.10 Налаштування підписів на 3D-графіку	80
4.11 Застосування 3D Plot Wizard для побудови 3D-графіків.....	81

5 ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, АПРОКСИМАЦІЯ ТА ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ У MATHCAD	88
5.1 Інтерполяція точок кривих і 3D-поверхонь.....	88
5.2 Побудова апроксимаційних кривих і 3D-поверхонь	93
5.3 Екстраполяція даних.....	104
ВИСНОВКИ.....	106
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	107

ВСТУП

Сучасне наукове та інженерне середовище потребує не лише точних обчислень, а й ефективного подання результатів у наочній формі. Одним із найпотужніших засобів для цього є програмне середовище Mathcad, що поєднує можливості обчислювальної математики, символної алгебри, чисельного аналізу та графічної візуалізації. Особливу роль у роботі з Mathcad відіграє візуалізація результатів обчислень – від простої побудови двовимірних графіків до складної тривимірної візуалізації функцій і обробки великомасштабних наборів даних.

Метою цієї роботи є систематизований аналіз та практичне засвоєння інструментів побудови графіків у середовищі Mathcad, а також налаштування їх візуального подання відповідно до поставлених задач. Основна увага приділена вибору типу графіка, створенню 2D-, 3D- та полярних графіків, налаштуванню їхніх параметрів, роботі з векторними і матричними даними, інтерполяції, апроксимації та екстраполяції функцій.

Актуальність дослідження обумовлена широким застосуванням Mathcad у навчальному процесі, інженерній практиці, дослідницькій діяльності та у розробці технічної документації. Вивчення можливостей графічної візуалізації дає змогу краще зрозуміти поведінку складних математичних моделей, оптимізувати структуру даних і сприяти прийняттю обґрунтованих технічних рішень.

Ця робота передбачає не тільки вивчення функціоналу Mathcad, а й формування практичних навичок роботи з графічними інструментами, що є необхідним для майбутніх інженерів, дослідників і програмістів, які прагнуть застосовувати математичні методи для вирішення прикладних задач.

1 ВИБІР ТИПУ ГРАФІКА У MATHCAD

Основними типами графіків у Mathcad є двовимірний графік у декартовій системі координат (X-Y Plot), графік у полярній системі координат (Polar Plot), тривимірний графік (Surface Plot).

Тип графіка можна задати одним із таких способів: за допомогою пункту меню Insert, панелі інструментів Graph і спеціальних комбінацій клавіш. Розглянемо ці способи.

1.1 Вибір типу графіка за допомогою пункту меню Insert

Спершу, необхідно обрати пункт меню Mathcad «Вставити» (Insert). Далі, вибрати підпункт «Графік» (Graph). Після цього, у низхідному списку вибрати тип графіка, наприклад, X-Y Plot (рис. 1.1). Окрім трьох основних типів графіків, можна вибрати графік ізоліній (Contour Plot), діаграму розсіювання (або точковий графік, 3D Scatter Plot), стовпчиковий графік (3D Bar Plot), графік векторних полів (Vector Field Plot). Зазначені додаткові типи графіків у Mathcad є типами відображення 3D-графіка (див. розділ 4).

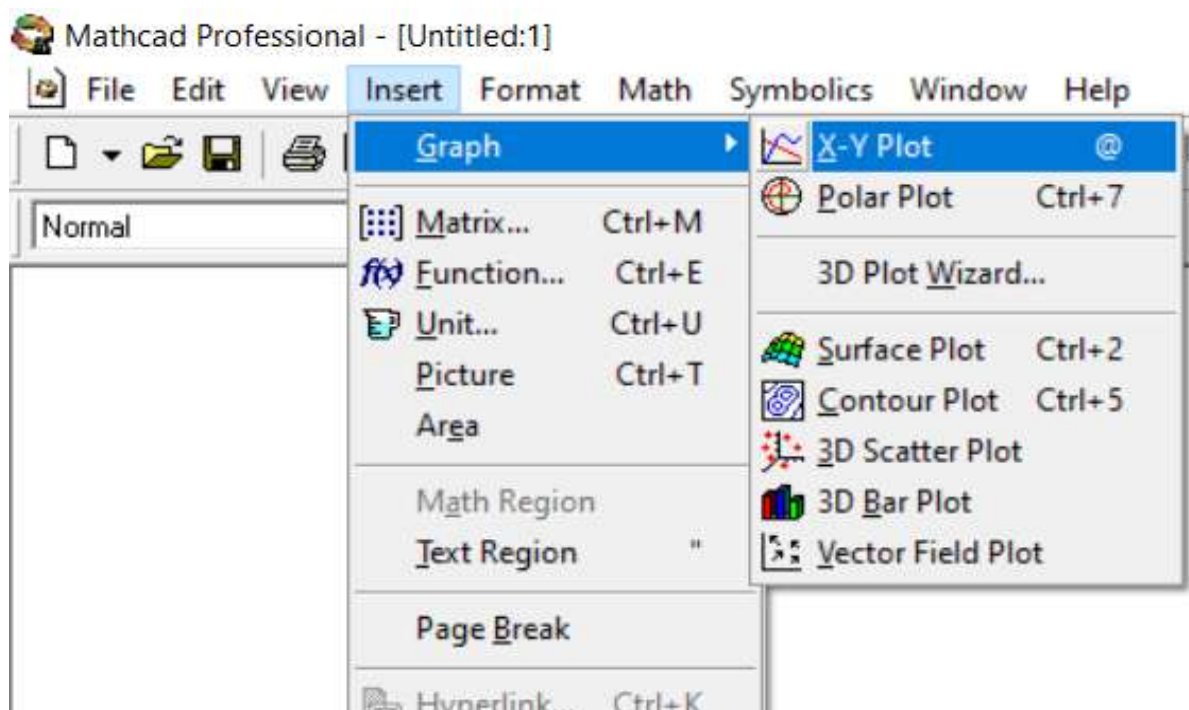


Рисунок 1.1 – Вибір типу графіка через пункт меню Mathcad «Вставити»

1.2 Вибір типу графіка за допомогою панелі Graph

Спочатку, потрібно вибрати пункт меню Mathcad «Вид» (View). Далі, вибрати підпункт «Панелі інструментів» (Toolbars). У низхідному списку відмітити «Графік» (Graph). У панелі інструментів (рис. 1.2), що з'явилась, необхідно натиснути на іконку, відповідну потрібному типу графіка.

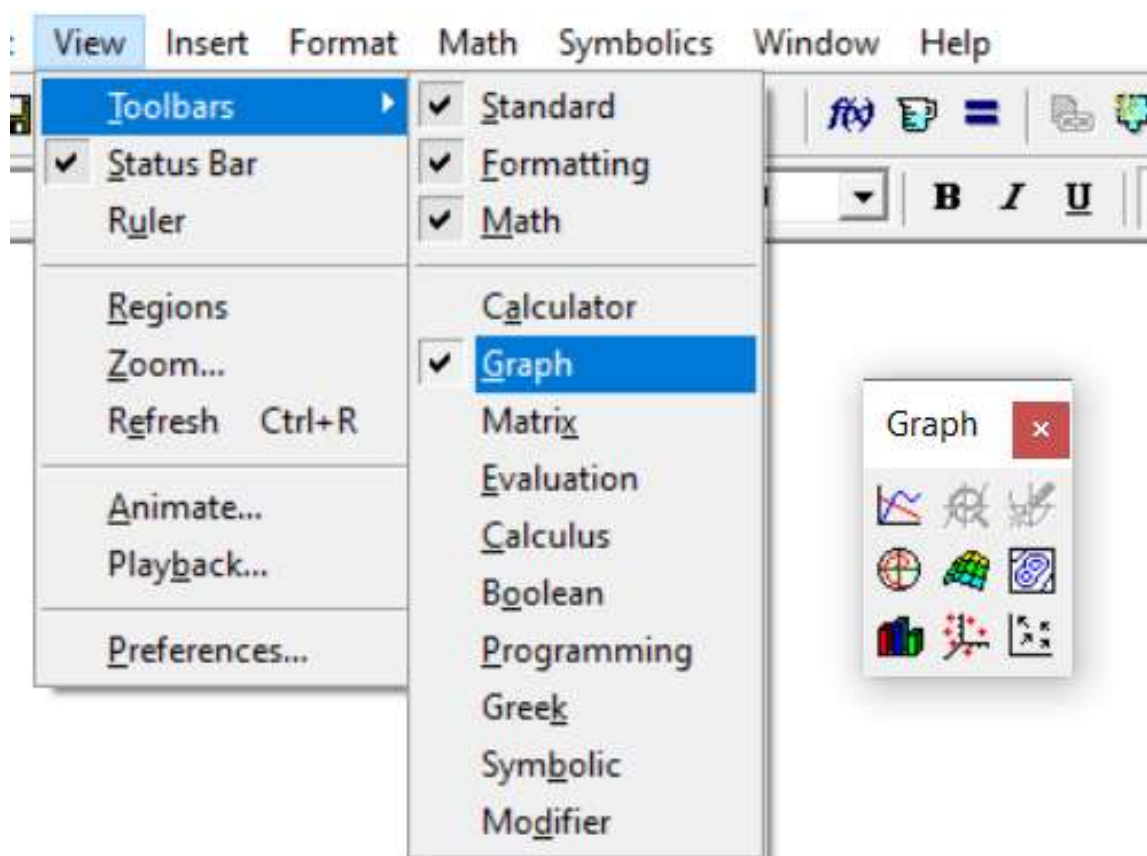


Рисунок 1.2 – Вибір типу графіка через пункт меню Mathcad «Вид» і панель Graph

1.3 Вибір типу графіка за допомогою комбінацій клавіш

Використовується комбінація гарячих клавіш, відповідна визначеному типу графіка. Комбінація Shift+2 (символ «@») відповідає вставці графіка у декартових координатах, Ctrl+7 забезпечує вставку графіка у полярних

координатах, Ctrl+2 – вставку тривимірного графіка, Ctrl+5 – вставку графіка ізоліній (рисунок 1.3).

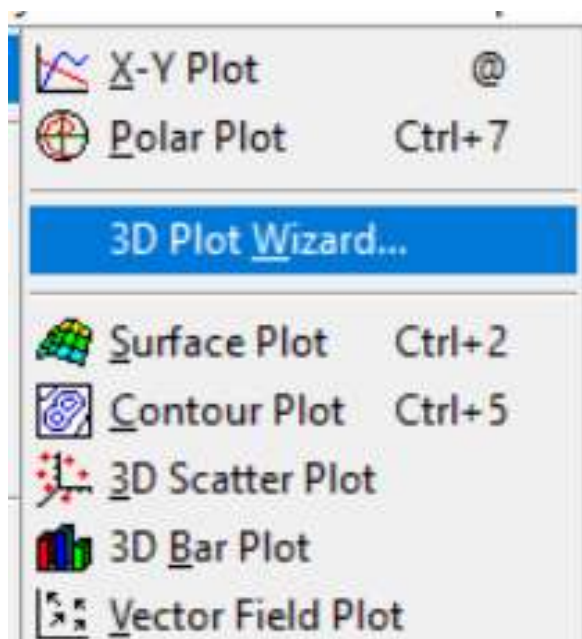


Рисунок 1.3 – Комбінації клавіш та спеціальні символи для вставки певного типу графіка

2 ПОБУДОВА 2D-ГРАФІКІВ У ДЕКАРТОВІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ У MATHCAD

2.1 Декартова система координат і формування 2D-графіків у Mathcad

Особливістю 2D-графіка у декартовій системі координат є однозначне визначення точки на площині за допомогою пари координат X і Y . Координати задаються відносно двох взаємно перпендикулярних осей, що перетинаються у початку координатної системи.

Після вставки шаблону графіка у декартових координатах (див. рис. 1.1 – 1.3), на графіку необхідно задати (рис. 2.1) аргумент функції, функцію (обов'язково), граничні значення функції та її аргументу (за бажанням). Якщо користувач не встановить граничні значення осей графіка, вони встановлюються автоматично.

Функцію на графіку можна задати, як і через її назву (рис. 2.2, а), так і через вираз обчислення (рис. 2.2, б).

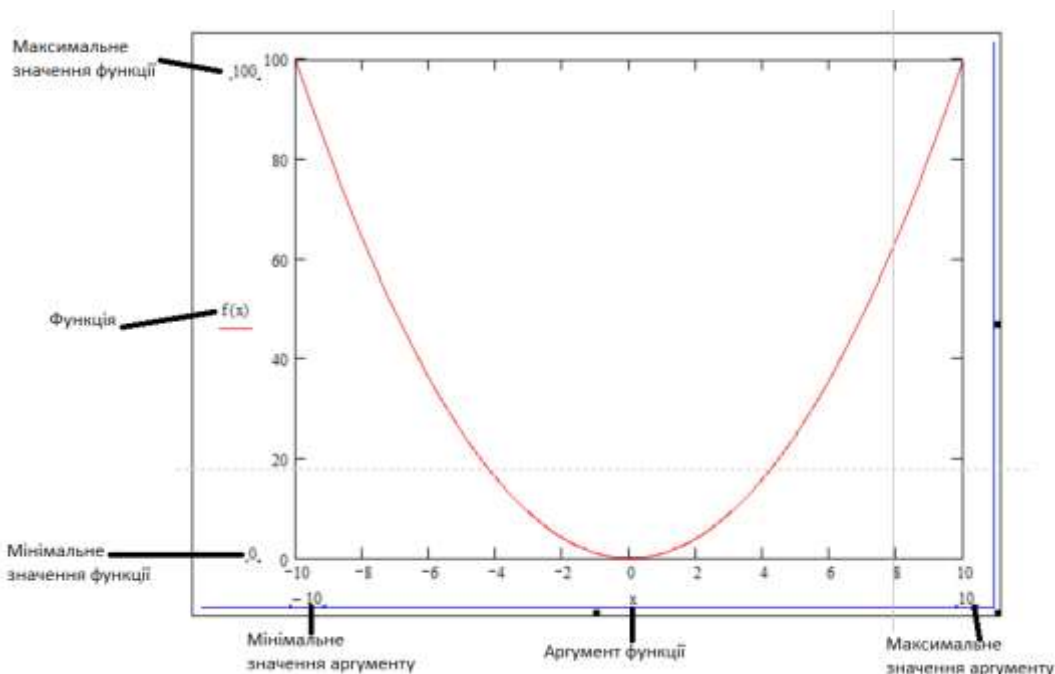


Рисунок 2.1 – Задання основних параметрів 2D-графіка у декартових координатах

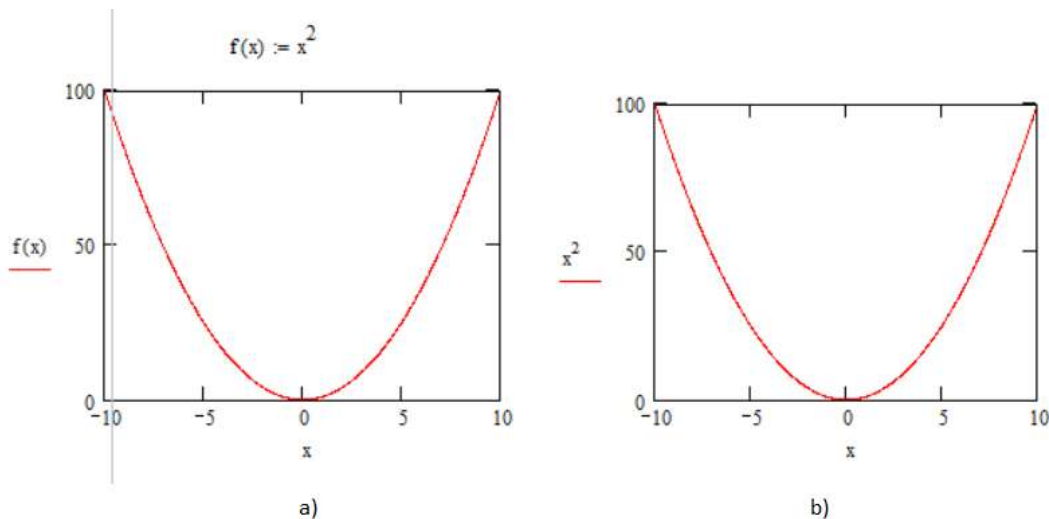


Рисунок 2.2 – Задання функції через ім'я (а), через вираз обчислення (б)

Окрім того, можливо побудувати графік, якщо відомі вектори аргументів і значень функції. Для додання вектора (або матриці) у робочу область необхідно вибрати Matrix у низхідному списку пункту Insert меню Mathcad. Після цього потрібно вказати необхідну кількість рядків і стовпців матриці.

Назви векторів значень аргументу функції та значень функції зазначаються у відповідних полях графіка (рис. 2.3).

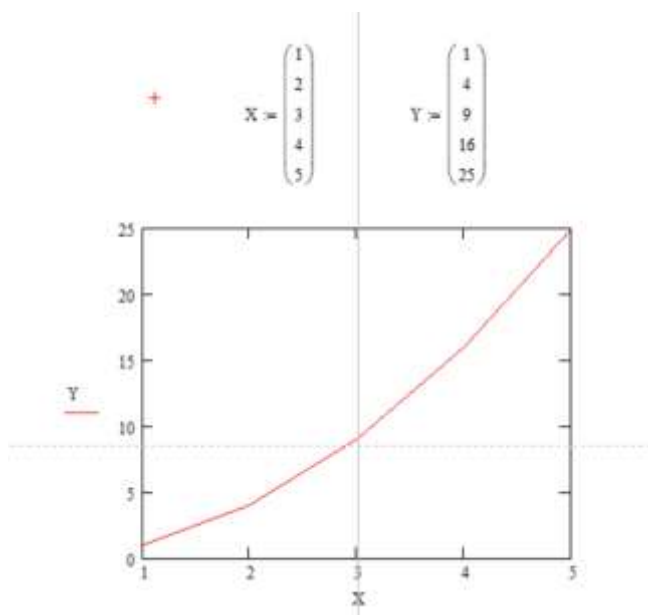


Рисунок 2.3 – Побудова графіка на основі векторів аргументів і значень функції

Для задання особливостей зміни параметра функції (рис. 2.4) необхідно у робочій області зазначити вираз його зміни значення параметра типу $x_i = x_0 + i \cdot h$

(індекси набираються як індекси векторів). Вказуються: початкове значення параметра (x_0), величина кроку зміни значення параметра (h), інтервал індексів (i) кроків.

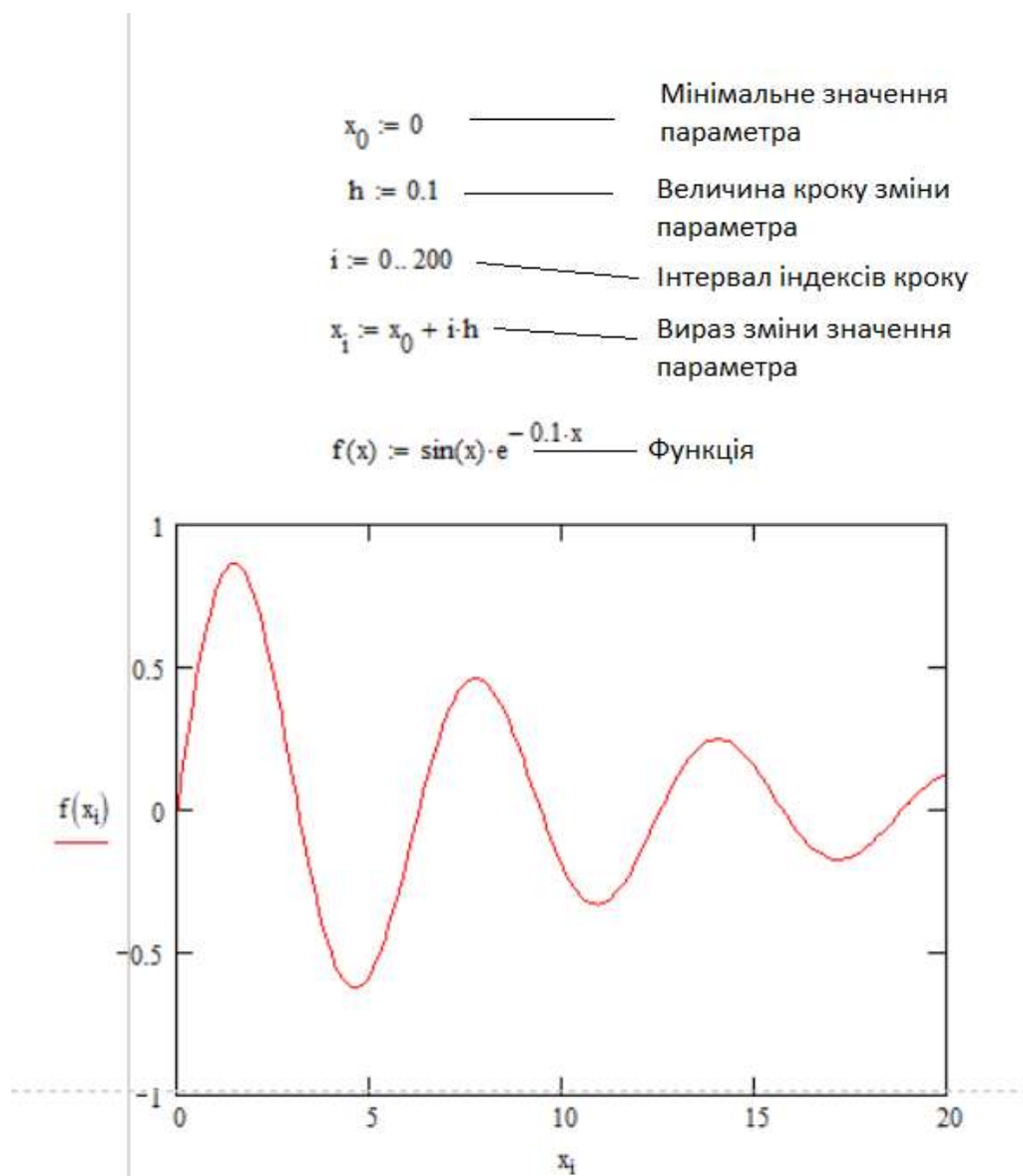


Рисунок 2.4 – Задання особливостей зміни параметра функції

Також, можливо задати вирази зміни аргументу та значення функції як відповідні вектор-стовпці однієї матриці. Наприклад, на рис. 2.5 перший індекс матриці M задає номер точки на графіку, а другий – номер стовпця матриці (0 – аргументи функції, 1 – значення функції).

$M_{0,0} := 0$ — Початкове значення аргументу функції
 $i := 0..200$ $h := 0.1$ — Задання індексів точок i кроку зміни аргументу
 $M_{i,0} := M_{0,0} + i \cdot h$ — Задання значень аргументу функції через перший стовпець матриці M
 $M_{i,1} := \sin(M_{i,0}) \cdot e^{-0.1 \cdot M_{i,0}}$ — Задання значень функції через другий стовпець матриці M

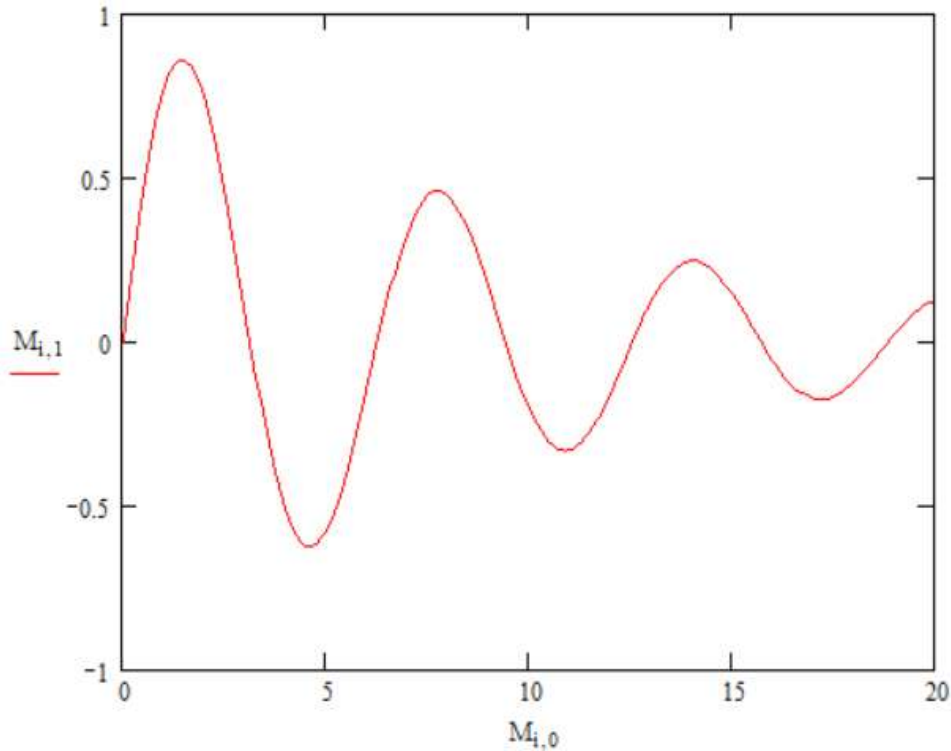


Рисунок 2.5 – Задання функції через вирази зміни значень стовпців матриці

Альтернативно, для побудови графіка можна використати дані із зовнішнього файлу.

Зчитування структурованої матриці чисел із файлу може бути здійснено за допомогою функції READPRN. Аргументом функції є адреса текстового файлу, що містить дані у форматі ASCII. Вхідні дані (рис. 2.6) для графіка мають бути задані у вигляді матриці зі значеннями, відділеними розділовими знаками (наприклад, комами, пробілами, символами табуляції чи повернення каретки). Дробові числа задаються через точку.

Data: Блокнот							
Файл	Редагування	Формат	Вигляд	Довідка			
0.1	1	2	3.1	4	5	6	7.1
8	9	10	11	12.1	13	14	15
16	17	18.1	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29.1	30	31
32	33	34.1	35	36	37	38	39

Data2: Блокнот							
Файл	Редагування	Формат	Вигляд	Довідка			
0.1,	1,	2,	3.1,	4,	5,	6,	7.1
8,	9,	10,	11,	12.1,	13,	14,	15
16,	17,	18.1,	19,	20,	21,	22,	23
24,	25,	26,	27,	28,	29.1,	30,	31
32,	33,	34.1,	35,	36,	37,	38,	39

Рисунок 2.6 – Приклади задання вхідних даних для побудови графіка у .txt файлі

Для подальшого використання даних необхідно у робочій області визначити змінну матриці, якій присвоюється результат виклику функції READPRN (рис. 2.7)

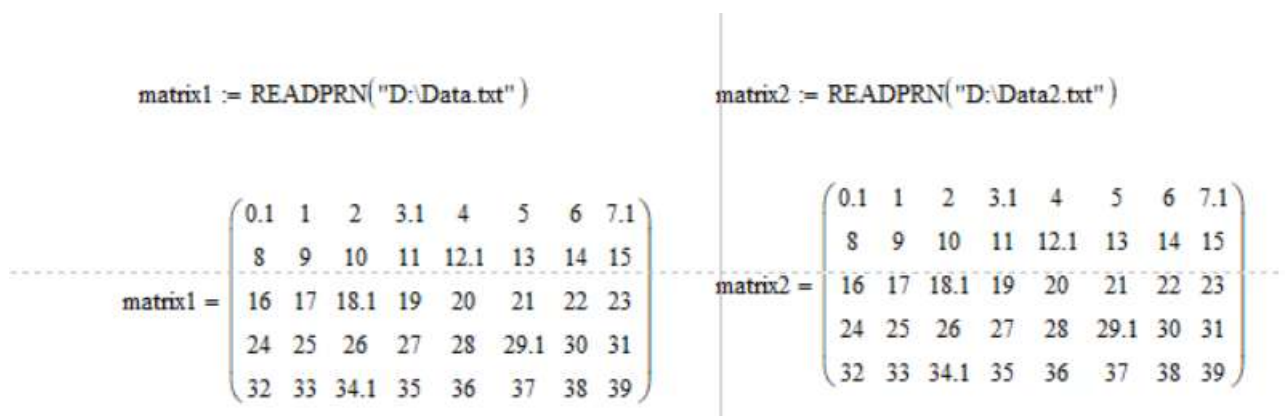


Рисунок 2.7 – Зчитування даних з файлу за допомогою функції READPRN

Зовнішні дані для побудови графіка можна також зчитати за допомогою пункту меню Insert. Вибираємо пункт Component з низхідного списку. Відкривається вікно Component Wizard.

Для зчитування даних з текстового файлу у вікні Component Wizard (рис. 2.8) потрібно вибрати пункт File Read or Write. Далі, у File Read or Write Wizard вибрати Read from a file. У низхідному списку File Format необхідно вибрати Text Files. У спеціальному полі користувач має або прописати адресу файлу, або

натиснути кнопку Browse і вибрати необхідний файл. За потреби, можна поставити позначку біля Use comma as decimal symbol («Використовувати кому як десятковий роздільник»). Після цього натиснути «Готово».

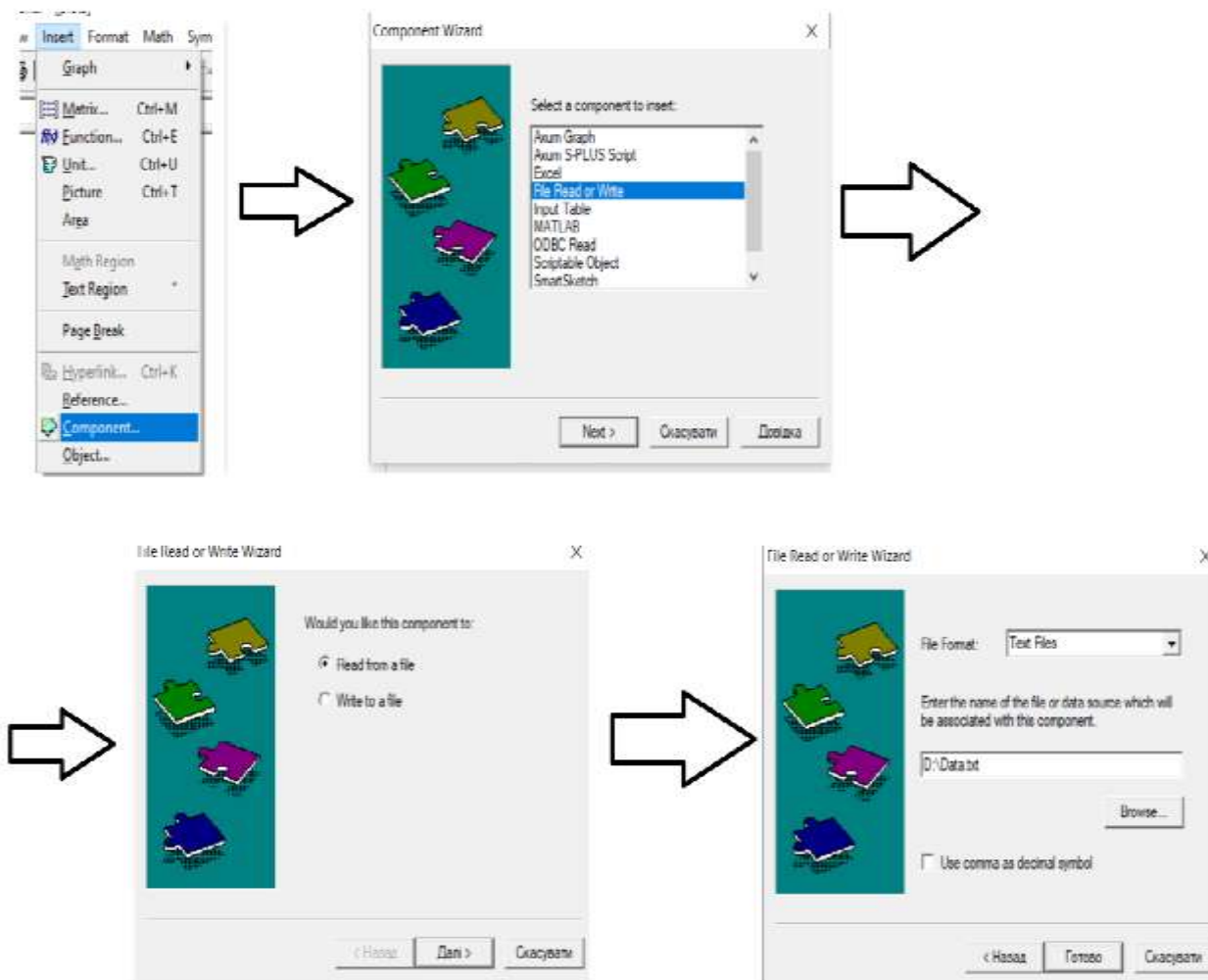


Рисунок 2.8 – Налаштування зчитування даних із текстового файлу для побудови графіка у File Read or Write Wizard

Як результат, у робочому листі Mathcad з'являється компонент (рис. 2.9) із посиланням на текстовий файл. Для посилання необхідно зазначити відповідну назву змінної. Для перегляду вмісту змінної достатньо ввести її назву та знак =.

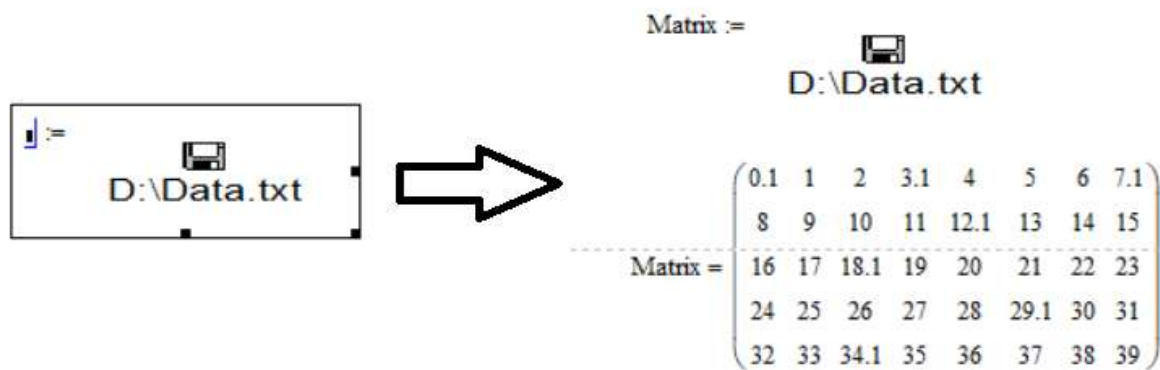


Рисунок 2.9 – Результат зчитування текстових даних за допомогою File Read or Write Wizard

Зчитування даних з файлу Excel (рис. 2.10) здійснюється аналогічно – у низхідному списку File Format необхідно вибрати пункт Excel. Зазначимо, що версія MS Excel має відповідати версії Mathcad.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0,10	1,00	2,00	3,10	4,00	5,00	6,00	7,10
2	8,00	9,00	10,00	11,00	12,10	13,00	14,00	15,00
3	16,00	17,00	18,10	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00
4	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,10	30,00	31,00
5	32,00	33,00	34,10	35,00	36,00	37,00	38,00	39,00
6								

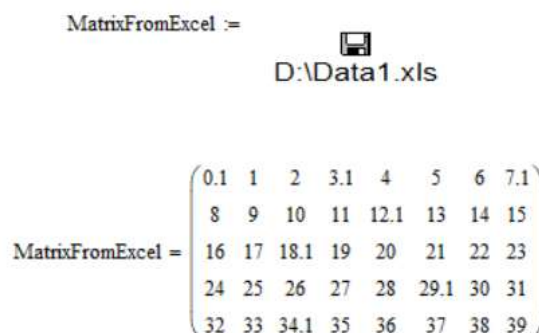


Рисунок 2.10 – Результат зчитування даних з Excel за допомогою File Read or Write Wizard

Інший спосіб зчитування вхідних даних для графіка з Excel полягає у виборі зі списку у Component Wizard пункту Excel. Далі, у Excel Setup Wizard (рис. 2.11) необхідно вибрати пункт Create from File. Потрібно або вказати адресу файлу Excel у текстовому полі, або вибрати файл через діалогове вікно, натиснувши кнопку Browse. У наступному вікні потрібно ввести значення 0 у полі Inputs і 1 у полі Outputs. Нижче поля Outputs, у стовпці Range, потрібно

вказати діапазон даних у файлі Excel, наприклад, A1:H5. У робочому листі Mathcad з'являється таблиця, що має бути присвоєна відповідній змінній.

Якщо потрібно зчитати з файлу N таблиць, у полі Outputs вказується число N , нижче задаються діапазони даних таблиць.

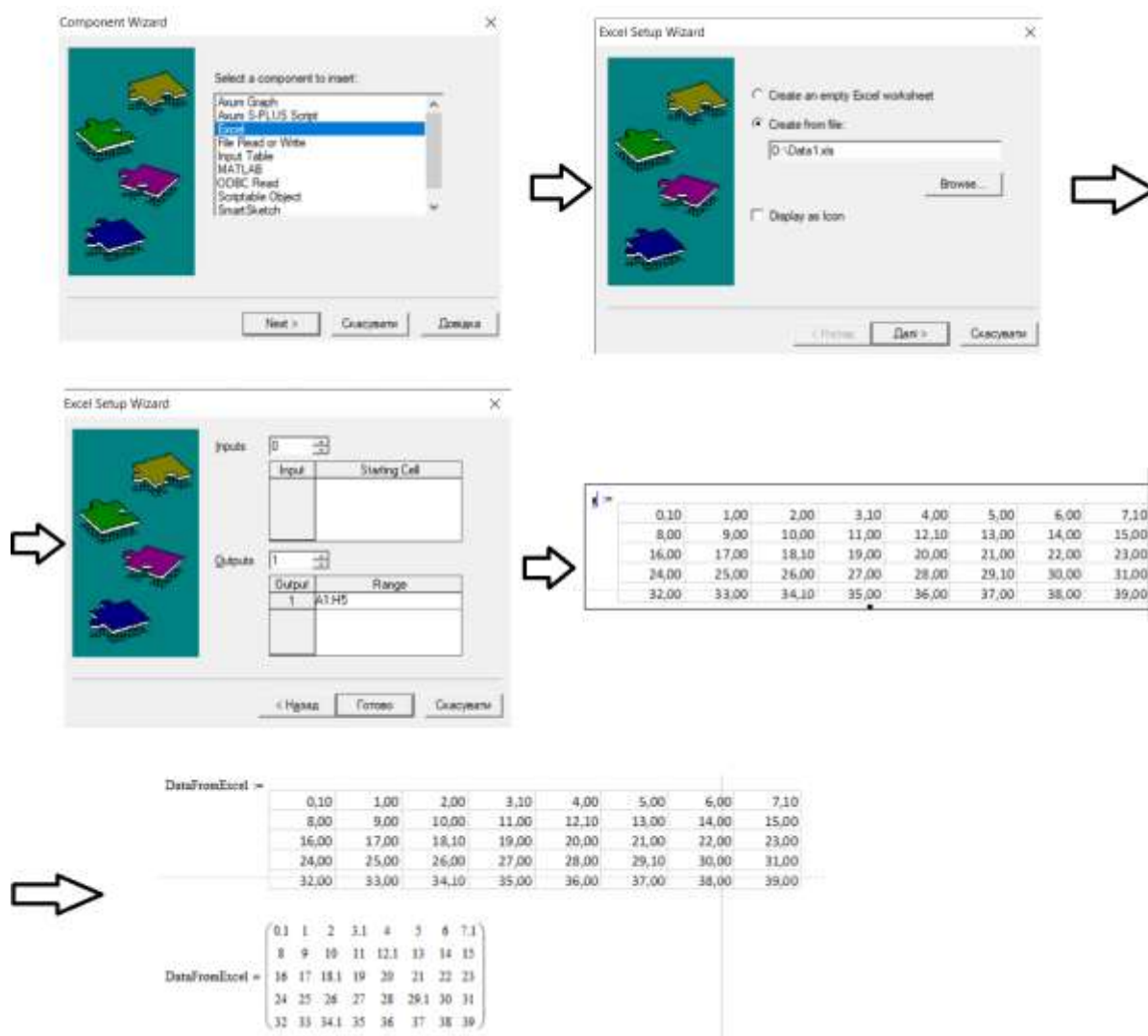


Рисунок 2.11 – Приклад зчитування даних з Excel за допомогою Excel Setup Wizard

Для застосування математичних виразів до зчитаних даних у вигляді матриці, необхідно зазначити індекси рядків і стовпців для змінної матриці, задати інтервали індексів.

Наприклад, на рис. 2.12 до кожного елемента матриці застосовано операцію піднесення до квадрата, на основі чого сформовано відповідний графік.

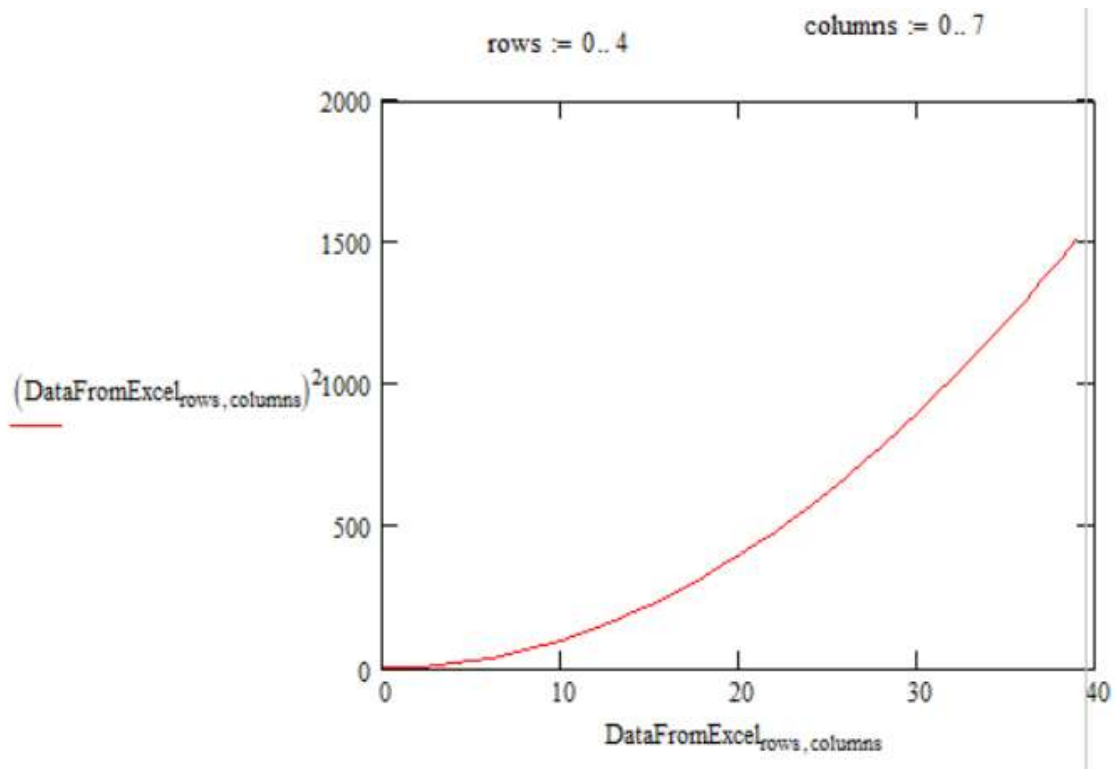


Рисунок 2.12 – Побудова графіка на основі поелементної обробки матриці зчитаних даних

Також масив зчитаних даних може використовуватись прямо як масив значень функції.

Наприклад, із відповідних текстових файлів зчитано масиви аргументів DataX і значень функції DataY, на основі чого побудовано графік (рис. 2.13).

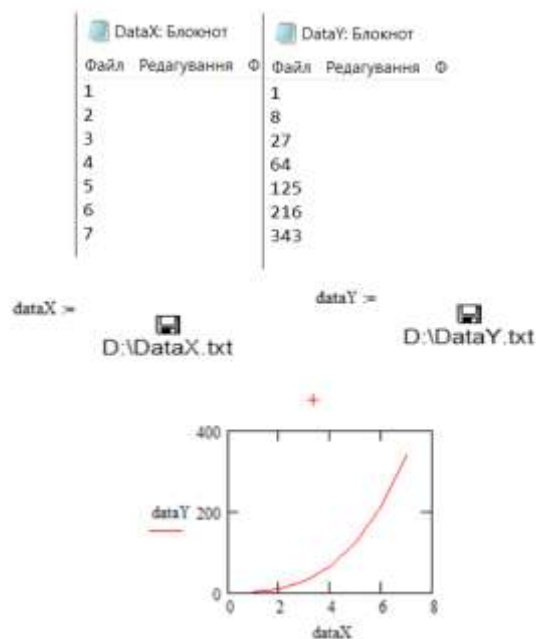


Рисунок 2.13 – Використання зчитаних даних аргументів і значень функції для побудови графіка

Для побудови графіків одразу кількох функцій, необхідно зазначити їхні назви або вирази (див. рис. 2.2), розділені комами (рис. 2.14). За натиску символу коми з'являється чорне поле для введення нового виразу. Всього відносно однієї осі можливо побудувати графіки 16 функцій.

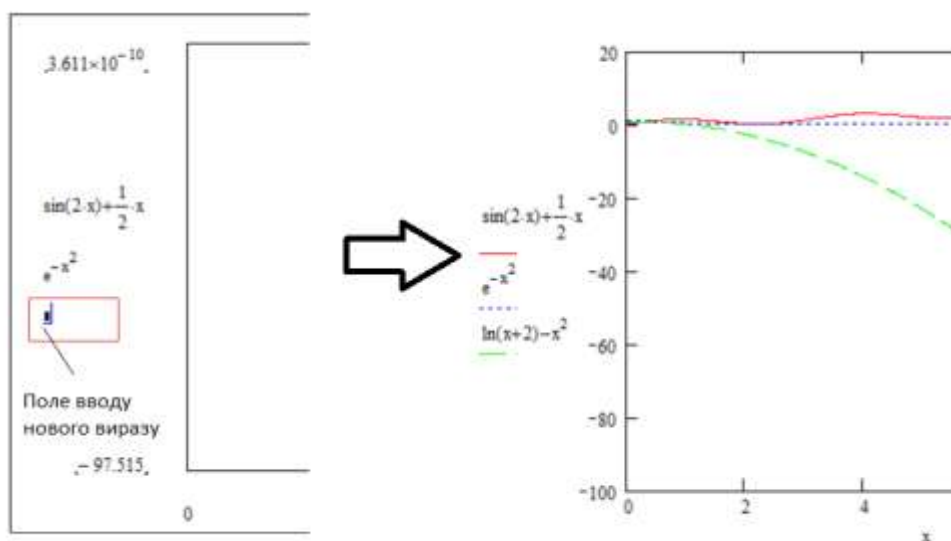


Рисунок 2.14 – Побудова графіків кількох функцій

Можливо задати окремі параметри для відповідних функцій. Це є доцільним, коли різні функції відповідають різним інтервалам параметрів. Для цього для кожного параметра необхідно задати вираз зміни його значення (див. рис. 2.4). Наприклад, на рис. 2.15 побудовано графіки функцій $\ln(x)$, $\sqrt{4-y^2}$ відносно $x \in [3, 8]$, $y \in [1, 2]$, відповідно.

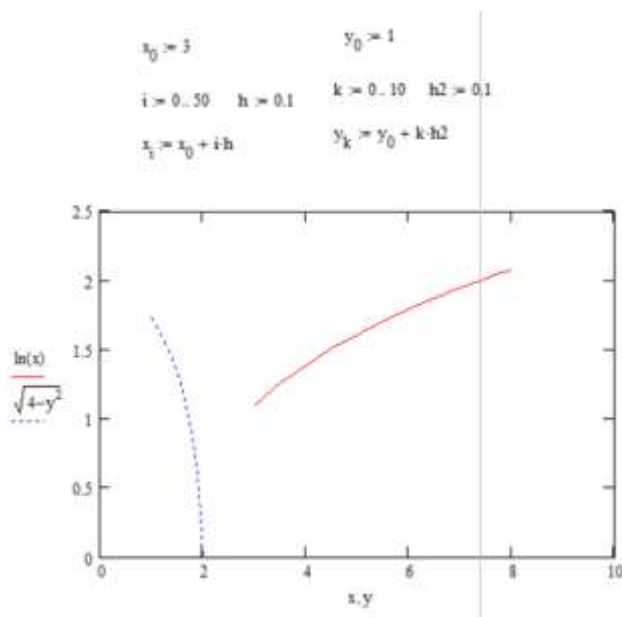


Рисунок 2.15 – Побудова графіків функцій відносно різних параметрів

2D-графік може бути побудований не лише на основі функції, заданої у аналітичній формі, а й на основі функції, заданої параметрично. У такому випадку координати кривої по осі X і по осі Y задаються виразами, залежними від певного параметра, наприклад, часу t .

Відповідно вираз зміни координати точки кривої по осі X має бути зазначений у полі аргументу 2D-графіка. Вираз зміни координати точки кривої по осі Y зазначається у полі виразу 2D-графіка (рис. 2.16). У цьому випадку необхідно задати інтервал значень змінної параметра.

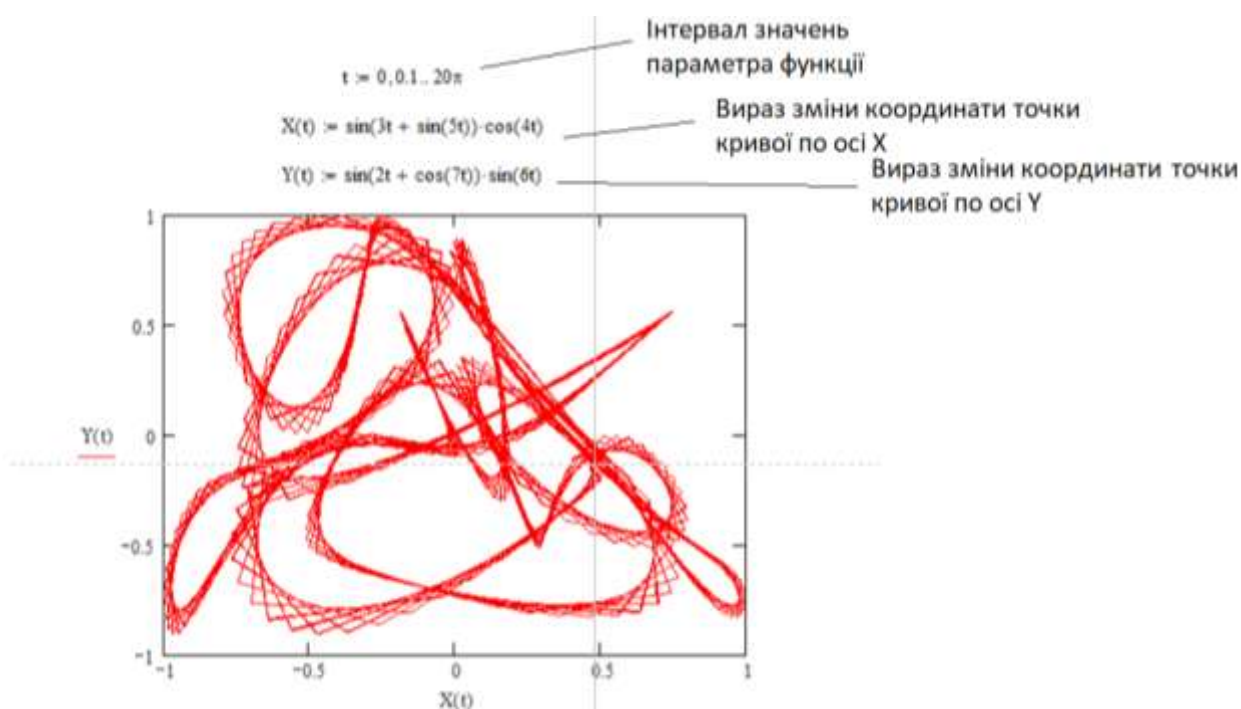


Рисунок 2.16 – Побудова 2D-графіка параметрично заданої функції у декартовій системі координат

2.2 Основні команди контекстного меню 2D-графіка

Розглянемо основні команди контекстного меню 2D-графіка.

Для того, щоб виокремити окрему область графіка, необхідно у контекстному меню вибрати пункт «Zoom» (рис. 2.17). Далі, потрібно за допомогою миші виокремити прямокутник (рис. 2.18), що відповідає новій області графіка. Крайні координати виокремленого прямокутника будуть автоматично задані у вікні «X-Y Zoom», що з'являється. Натискаємо «ОК». Отримуємо графік (рис. 2.19) з вибраним регіоном оригінального графіка.

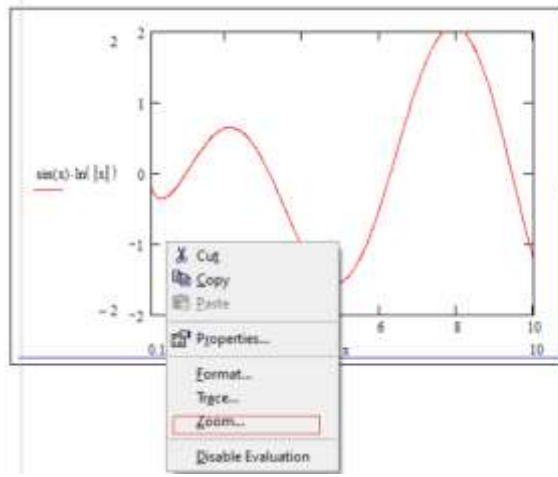


Рисунок 2.17 – Вибір команди «Zoom» у контекстному меню

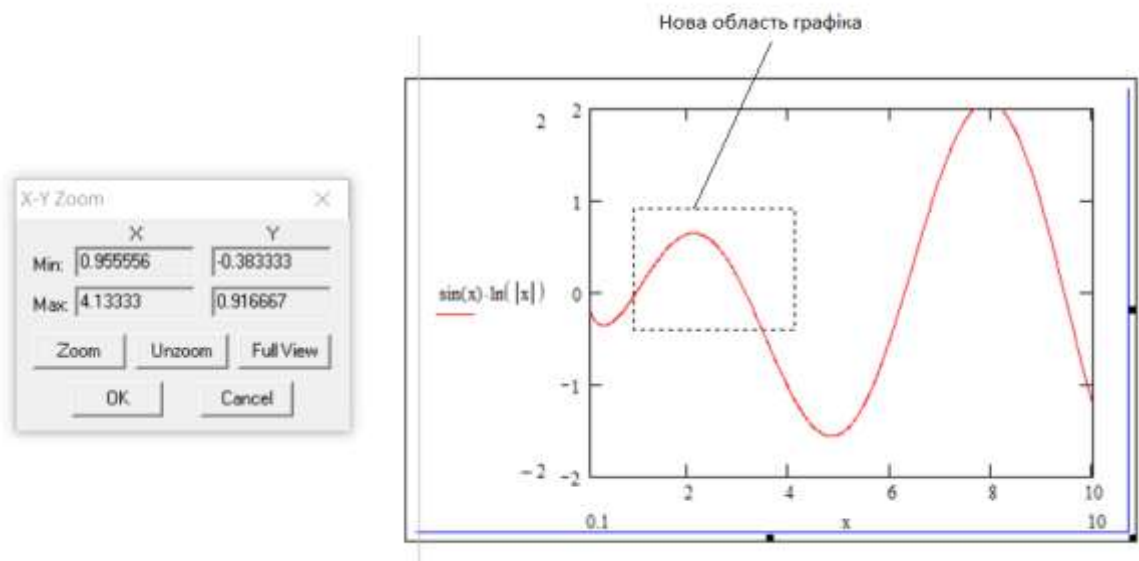


Рисунок 2.18 – Задання нової області графіка

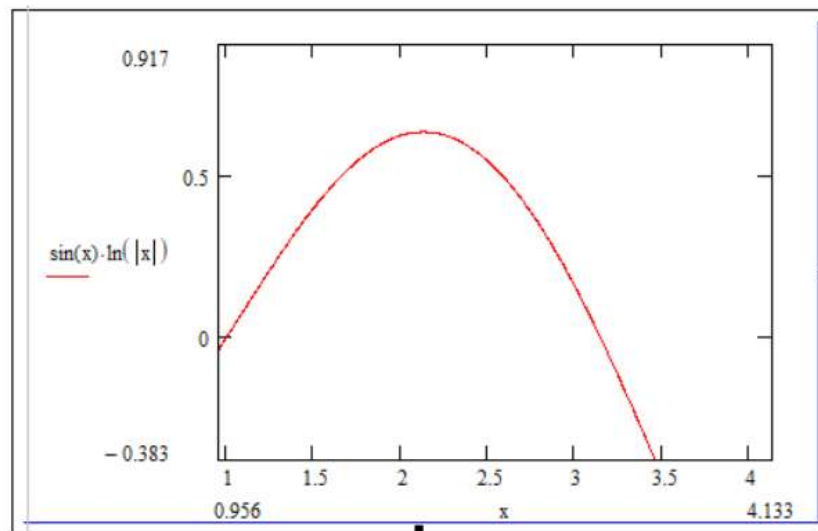


Рисунок 2.19 – Графік, відповідний виокремленій області оригінального графіка

Для повернення до повної області графіка необхідно у вікні «X-Y Zoom» (див. рис. 2.18) вибрати пункт «Full View».

Кнопки «Zoom», «Unzoom» дозволяють відповідно підтвердити перехід до меншої області графіка та повернутись до попередньої області графіка на крок назад.

Розглянемо інші команди контекстного меню (рис. 2.20).

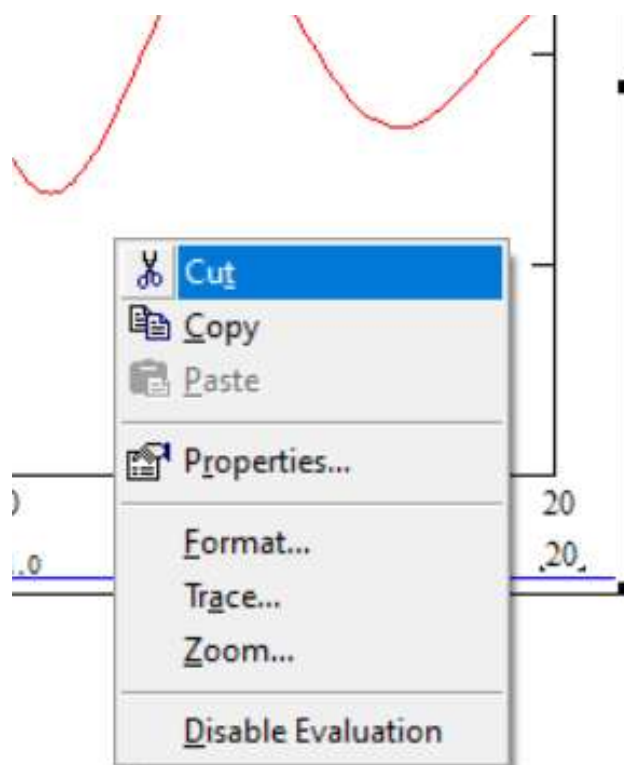


Рисунок 2.20 – Контекстне меню 2D-графіка

Команда Cut призначена для видалення графіка. Команди Copy і Paste відповідно забезпечують копіювання та вставку графіка.

Команда Properties здійснює перехід до налаштувань властивостей графіка. Для задання властивостей графіка наявні вкладки Display і Calculation.

У вкладці Display можна встановити колір регіону графіка, зробити видимими границі регіону графіка, встановити тег графіка. Для встановлення кольору графіка необхідно відмітити позначку біля Highlight Region і натиснути кнопку Choose Color поруч. Далі, у вікні, що з'явилось, необхідно вибрати необхідний колір регіону графіка, наприклад, жовтий (рис. 2.21).

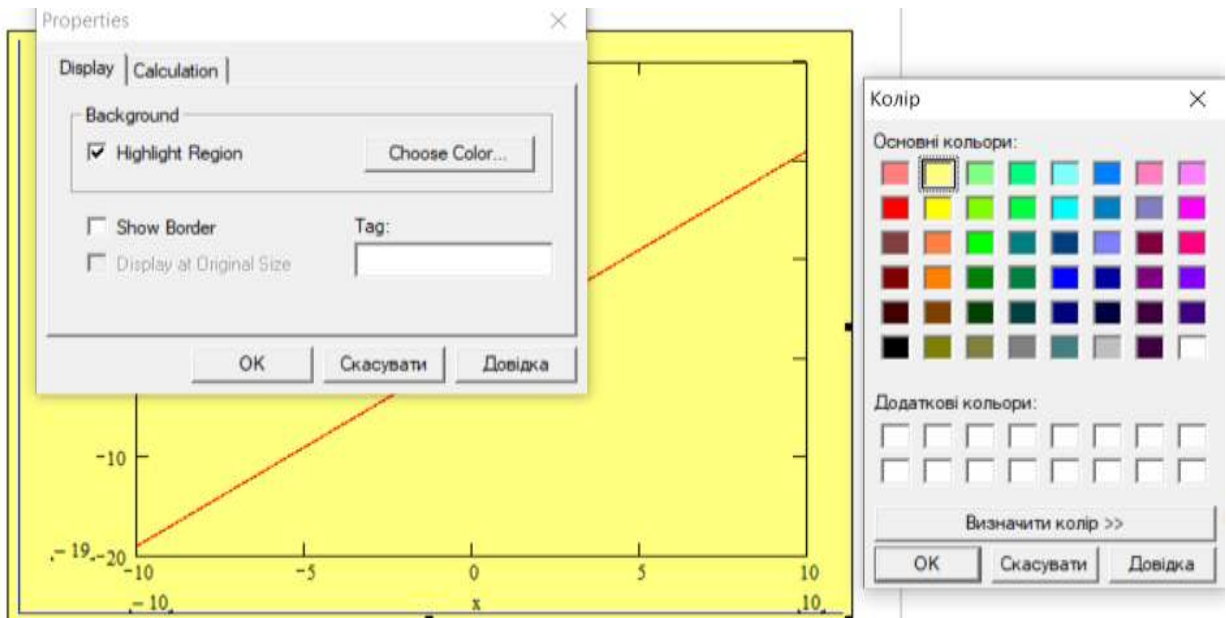


Рисунок 2.21 – Встановлення кольору регіону графіка

Установлення позначки біля Show Border дозволяє виділити регіон графіка лінією, установлення позначки біля Display at Original Size (див. рис. 2.21) – повернути оригінальний розмір зображення.

Поле Tag (див. рис. 2.21) вікна Display дозволяє «прив'язати» до графіка спеціальний тег. Цей тег дозволяє створити гіперпосилання на графік з іншого документа Mathcad або з іншого регіону того ж документа. Наприклад, введемо у полі Tag назву ExampleT (рис. 2.22).

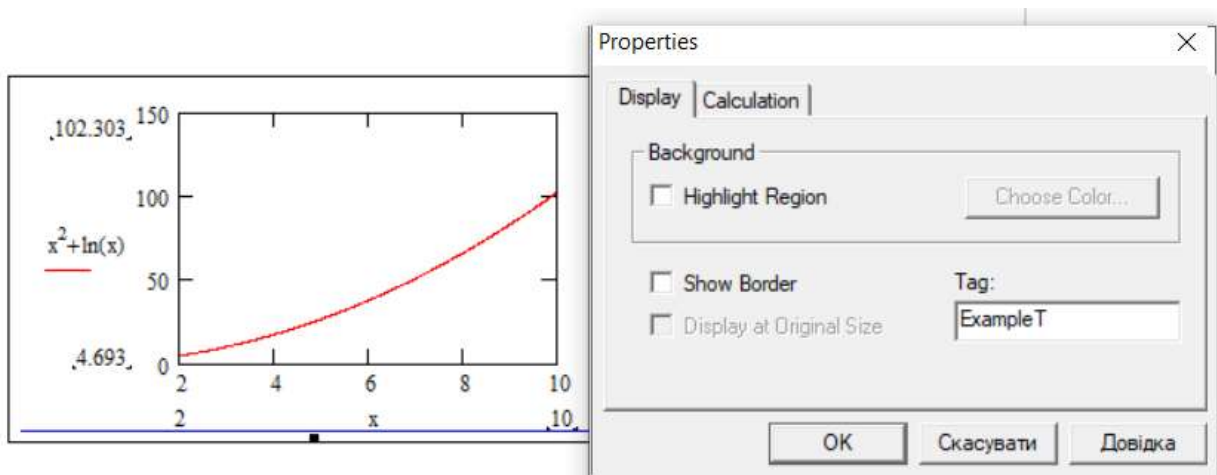


Рисунок 2.22 – Зазначення тегу зображення

Виділимо текст (рис. 2.23) у текстовому полі робочої області, де має з'явитись гіперпосилання. Для прив'язки до тексту гіперпосилання необхідно

вибрати пункт меню Mathcad Insert. У низхідному списку потрібно обрати Hyperlink.

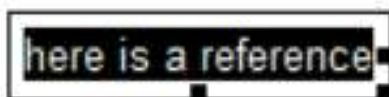


Рисунок 2.23 – Виділення тексту для прив'язки гіперпосилання

Як результаті – виводиться вікно, де у полі Link to file or URL (рис. 2.24) зазначається адреса файлу Mathcad, в який має переправляти користувача гіперпосилання. Найбільш зручним є автоматичне заповнення адреси файлу, що здійснюється за натиску кнопки Browse й подальшому виборі у файловій системі необхідного файлу. Назва тегу пишеться після адреси файлу й символу #. У цьому випадку, поле містить текст «D:\MathCADFiles\plots.mcd#ExampleT».

У полі Message that appears on the status line when mouse is over link можна вказати текст, що виводиться у рядку стану Mathcad, коли курсор миші знаходиться над посиланням. Для використання відносних адрес файлів потрібно поставити позначку біля Use relative path for hyperlink. Якщо поставити позначку біля Display as pop-up document, необхідний документ відкриється у окремому низхідному вікні.

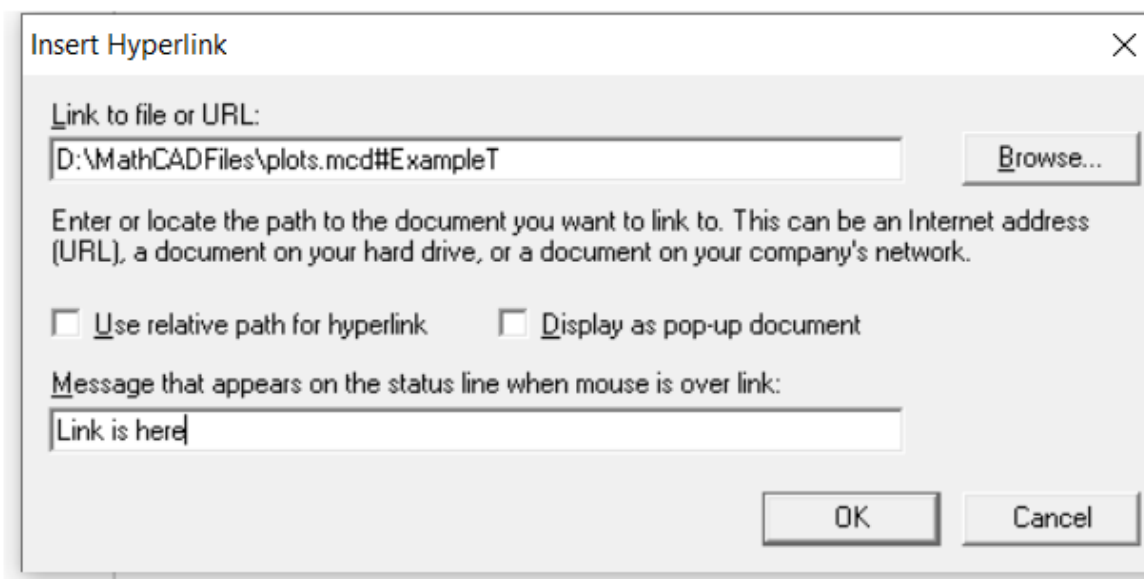


Рисунок 2.24 – Зазначення адреси файлу та тегу для переходу за гіперпосиланням

Натискаємо ОК. Вихідний текст стає гіперпосиланням, за натиску на нього (рис. 2.25) автоматично переходимо до графіка з тегом ExampleT.

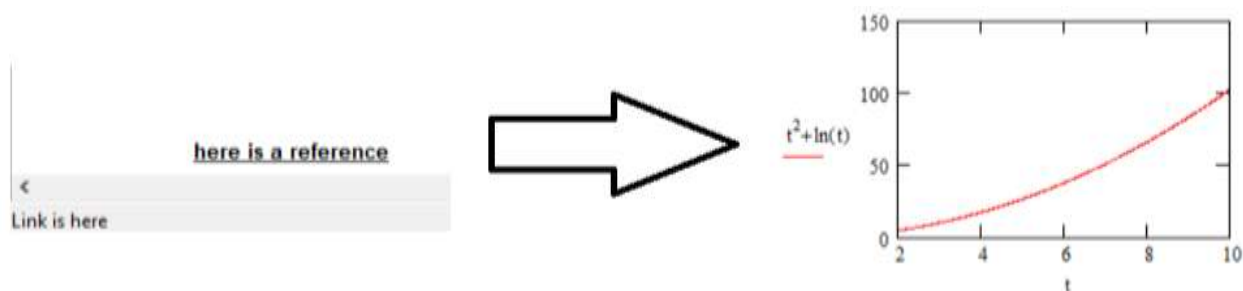


Рисунок 2.25 – Перехід за гіперпосиланням

У вкладці Calculation вікна Properties наявні команди Disable Evaluation та Enable Optimization (рис. 2.26). Установлення позначки біля Disable Evaluation дозволяє вимкнути автоматичне оновлення графіка за зміни його параметрів. Це корисно, коли здійснюється візуалізація великого набору даних або обчислюється складна функція, що може викликати часові затримки під час взаємодії користувача з робочим аркушем. Ця команда також прямо доступна у контекстному меню графіка. Для увімкнення автоматичного оновлення графіка необхідно зняти позначку біля Disable Evaluation або вибрати пункт Enable Evaluation у контекстному меню. Команда Enable Optimization; застосовується для оптимізації розрахунку функції, графік якої будується.

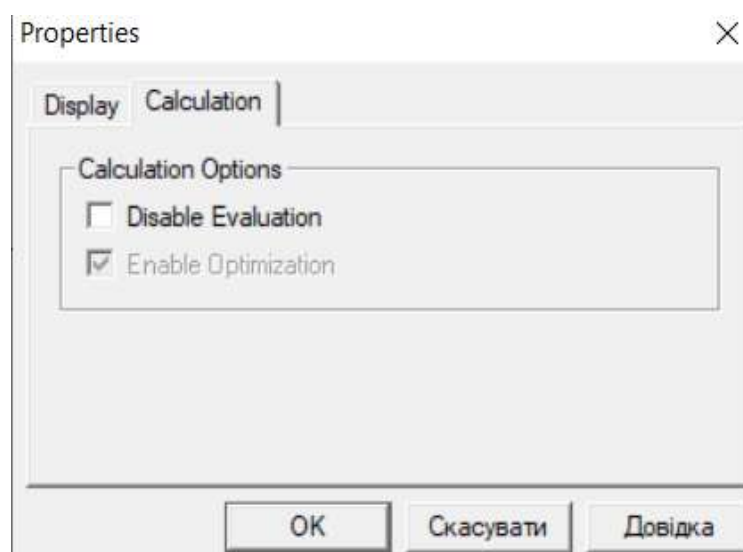


Рисунок 2.26 – Команди вкладки Calculation вікна Properties

Наступна команда контекстного меню Trace дозволяє у спеціальному вікні отримати значення координат у певній точці графіка функції. Для отримання значення координат, необхідно навести хрестоподібний курсор (рис. 2.27) на необхідну точку. Кнопки Copy X, Copy Y призначені для копіювання значень координат задля подальшого використання у робочому аркуші Mathcad. Установлення позначки біля Track Data Points означає, що курсор можна переміщувати лише по точках кривої функції.

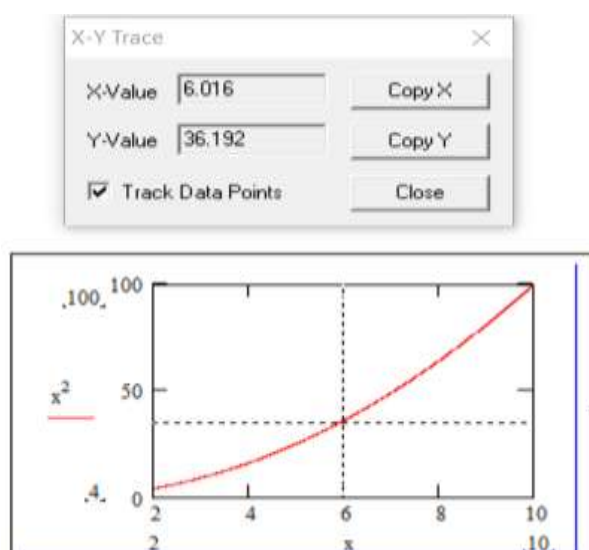


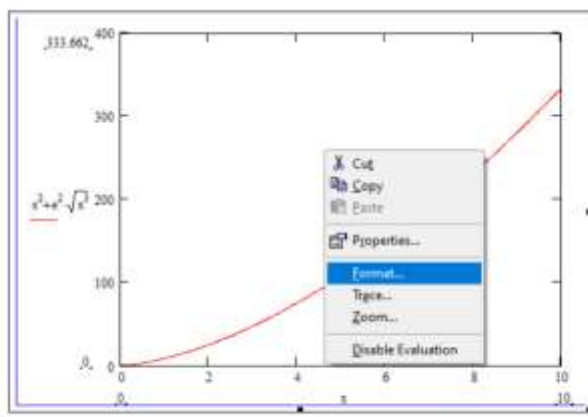
Рисунок 2.27 – Отримання значення координат у точці графіка

Команду контекстного меню Format розглянемо окремо.

2.3 Способи переходу до вікна налаштувань формату 2D-графіка

Перехід до вікна налаштувань формату 2D-графіка у Mathcad можливий відповідно до одного із таких способів:

1. Вибір у контекстному меню графіка пункту Format (рис. 2.28, зліва).
2. Двічі натиснути на графік лівою клавiшею миші.
3. Обрати у меню Mathcad пункт Format (рис. 2.28, справа). У низхідному списку вибрати Graph, після чого у наступному списку вказати необхідний тип графіка (у цьому випадку X-Y Plot).



1)



3)

Рисунок 2.28 – Способи переходу до вікна налаштування формату графіка

2.4 Налаштування формату осей 2D-графіка

Вікно налаштування формату 2D-графіка Formatting Currently Selected X-Y Plot містить вкладки X-Y Axes, Traces, Labels, Defaults.

Вкладка X-Y Axes (рис. 2.29) призначена для налаштування параметрів осей графіка шляхом встановлення позначок біля відповідних пунктів.

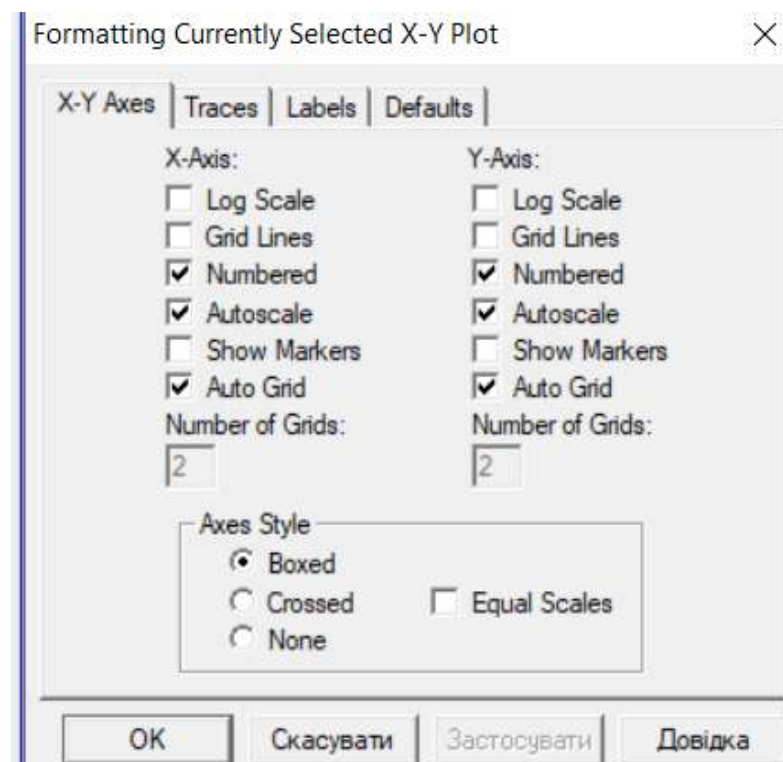


Рисунок 2.29 – Вікно налаштування формату графіка. Вкладка X-Y Axes

Параметр Log Scale призначений для використання логарифмічної шкали значень осі замість лінійної. Логарифмічну шкалу доцільно використовувати у

випадках експоненціальної зміни значень функції. Наприклад, на рис. 2.30 показано приклади графіків функції у лінійній та логарифмічній шкалах. Важливо зазначити, що логарифмічна шкала Mathcad полягає не у розрахунку логарифмів аргументів чи значень функцій, а у використанні біля поділок осей графіка степенів числа 10.

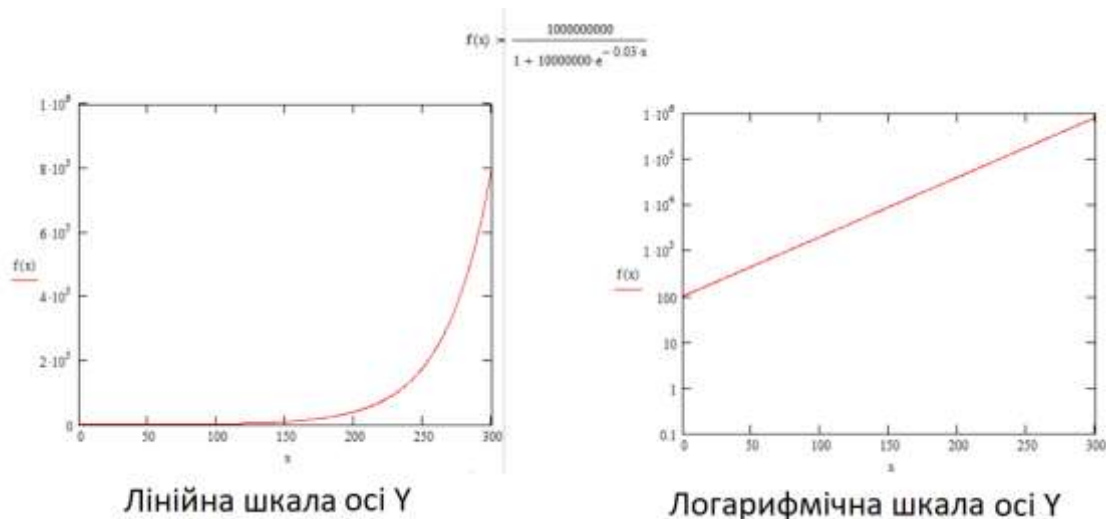


Рисунок 2.30 – Побудова графіків функції у лінійній та логарифмічній шкалі осі значень Y

Параметр Grid Lines використовується для поділу області графіка прямими рівновіддаленими лініями відносно певної осі. Для встановлення кількості виокремлених областей графіка (рис. 2.31) необхідно поставити позначку біля Grid Lines, зняти позначку біля Auto Grid, у полі Number of Grids поруч ввести число областей.

Якщо позначку поставлено біля Grid Lines і Auto Grid, буде сформовано автоматично визначену системою кількість ліній.

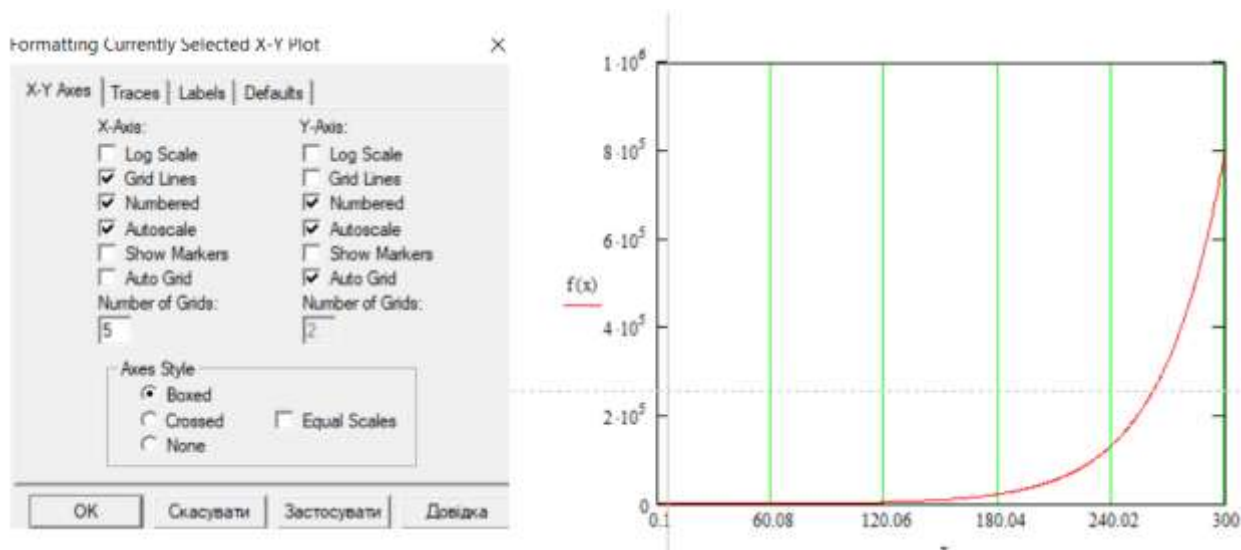


Рисунок 2.31 – Поділ області графіка за допомогою прямих ліній

Параметр **Numbered** застосовується для увімкнення/вимкнення виведення числових значень біля поділок осі.

Параметр **Auto Scale** забезпечує автоматичне масштабування числових діапазонів осей графіка. Якщо параметр вимкнено, границі робочої області графіка точно відповідають граничним значенням даних осі. Якщо параметр увімкнено, границі робочої області графіка відповідають округленим граничним значенням даних осі. Приклад, що демонструє використання параметра **Auto Scale**, наведено на рис. 2.32.

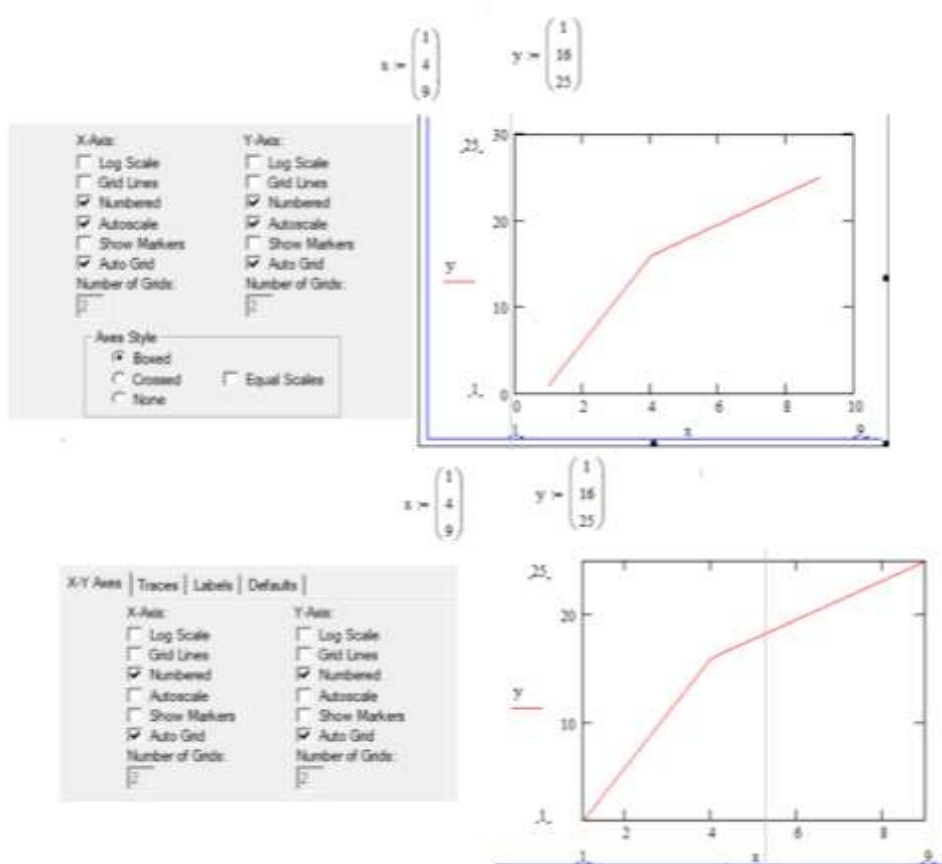


Рисунок 2.32 – Приклад застосування параметра **Auto Scale**

Параметр **Show Markers** застосовується для проведення прямих ліній відносно одного-двох вибраних рівнів осі. Як правило, маркери дозволяють виокремити найбільш важливі ділянки значень функції та її аргументів.

Значення осі, відносно яких потрібно провести прямі лінії, зазначаються у спеціальних, виділених чорним, полях (рисунок 2.33).

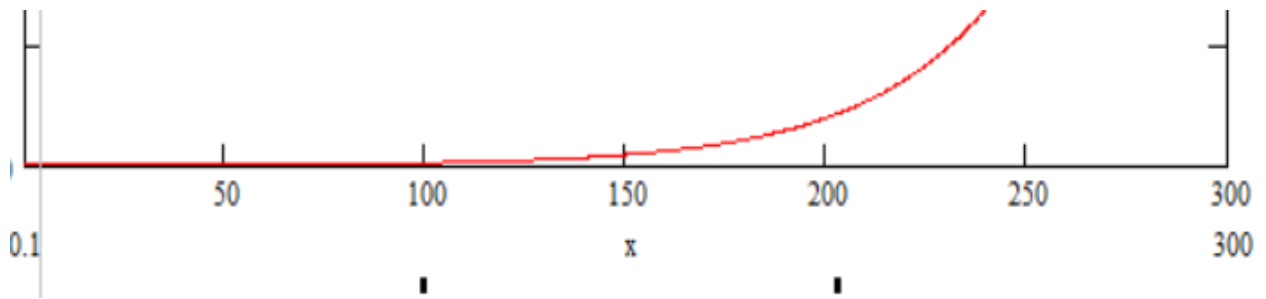


Рисунок 2.33 – Поля для зазначення рівнів проведення маркерних ліній

На рис. 2.34 наведено приклади сформованих маркерних ліній відносно рівнів $x = 30$, $x = 210$.

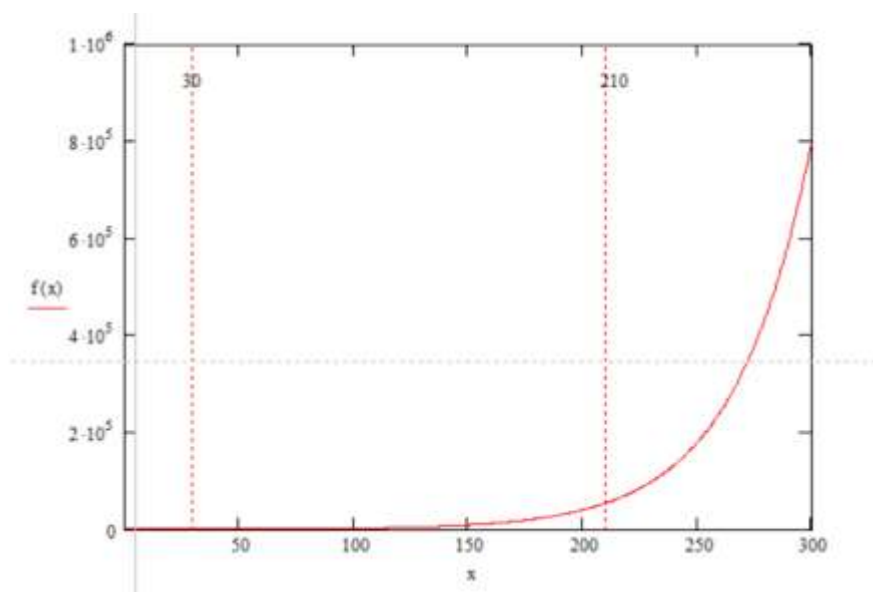


Рисунок 2.34 – Приклад побудованих маркерних ліній графіка

У групі полів Axes Style вкладки X-Y Axes (див. рис. 2.29) можна вибрати стиль координатної осі графіка (рис. 2.35): Boxed (за замовчуванням), Crossed або None.

Стиль Boxed полягає у розміщенні координатних осей з усіх сторін графіка. Фактично, координатні осі збігаються з границями робочої області графіка.

Стиль Crossed полягає у використанні двох координатних осей (параметрів X і значень Y), що перпендикулярно перетинаються.

Встановлення позначки біля стилю None означає відімкнення візуалізації координатної осі графіка.

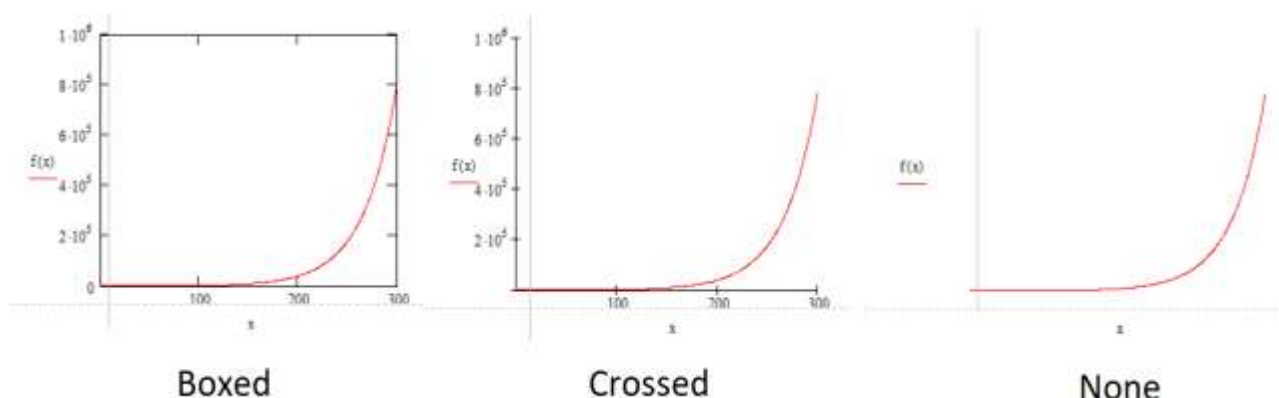


Рисунок 2.35 – Основні стилі осей графіка у Mathcad

Параметр Equal Scales застосовується для вирівнювання масштабів осей аргументів і значень. Вирівнювання масштабу осей здійснюється лише, якщо хоча б для однієї осі числовий діапазон задається автоматично.

На рис. 2.36 наведено приклад вирівнювання масштабу графіка відносно осі значень Y .

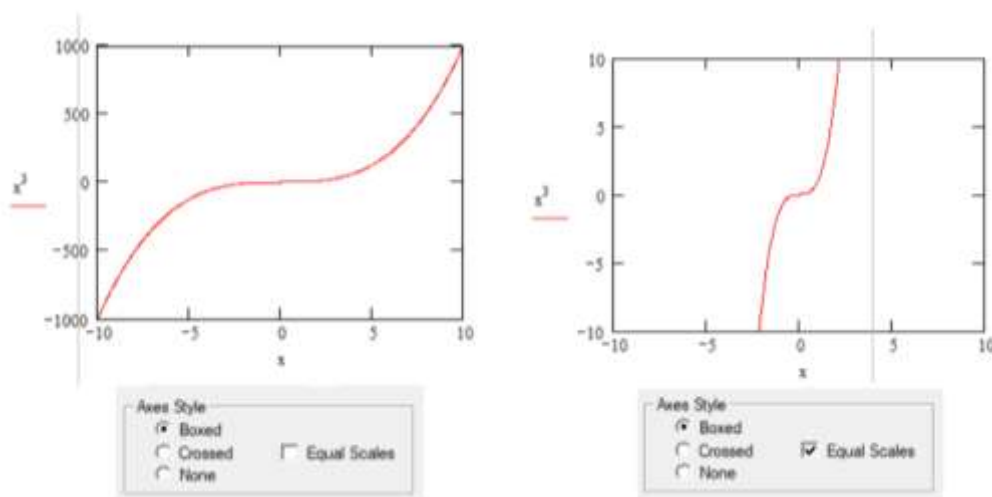


Рисунок 2.36 – Приклад вирівнювання масштабу графіка відносно осі значень

2.5 Налаштування подання залежностей між даними на 2D-графіку

Для налаштування формату ліній графіка необхідно вибрати вкладку Traces (рис. 2.37) вікна Formatting Currently Selected X-Y Plot.

У списку вкладки наявна таблиця з 16 рядків, що відповідають побудованим і майбутнім лініям функцій, і 6 стовпців, що відповідають параметрам ліній функцій.

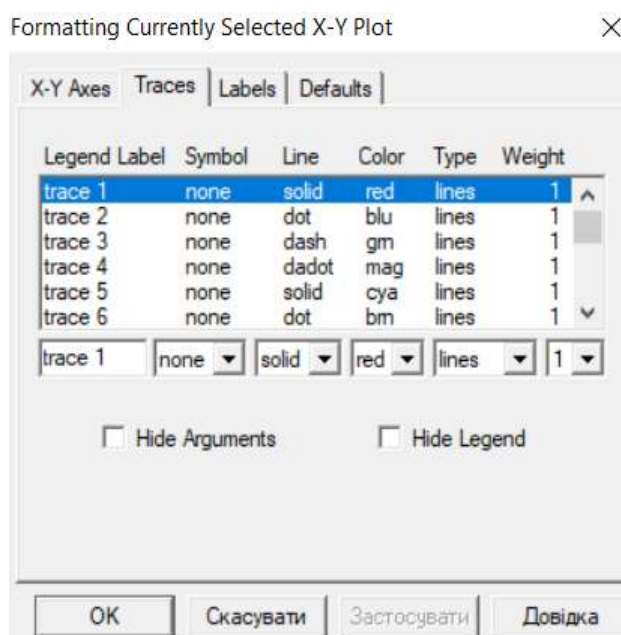


Рисунок 2.37 – Вкладка Traces для налаштування формату ліній графіків

Параметр Legend Label використовується для задання назви лінії функції, що може бути виведена у легенді графіка. За замовчуванням лінія функції має назву trace N , де N – порядковий номер кривої.

Для відображення на графіку його легенди необхідно зняти позначку біля Hide Legend (див. рис. 2.37). Якщо відображається легенда, може бути доцільним приховати аргументи й вирази функцій для графіка. Для цього, потрібно поставити позначку біля Hide Arguments (див. рис. 2.37).

Параметр Symbol дозволяє використати спеціальний символ як основну складову лінії замість точки. Зокрема, можуть бути використані символи «хрестик» (x's), «плюс» (+'s), «коробка» (box), «ромб» (dmnd), «літера о» (o's). Якщо для побудови лінії використовується звичайна точка, встановлюється параметр none.

Параметр Line призначений для встановлення типу лінії – «суцільна» (solid), «пунктирна» (dot), «штрихова» (dash), або «штрих-пунктирна» (dadot).

Параметр Color призначений для встановлення кольору лінії функції. До основних кольорів, що можуть бути встановлені, належать червоний (red), синій (blu), зелений (grn), пурпуровий (mag), блакитний (cya), коричневий (brn), чорний (blk), білий (wht).

Параметр Weight дозволяє задати товщину лінії від 1 (найменша товщина) до 9 (найбільша товщина). Окрім того, можливо встановити товщину лінії розміром у піксель.

На рис. 2.38 наведено приклад налаштування формату ліній 4 функцій, включно зазначення їх назв, вибір типу лінії, встановлення товщини лінії. В усіх випадках встановлено тип подання залежностей графіка Lines (type, передостання колонка).

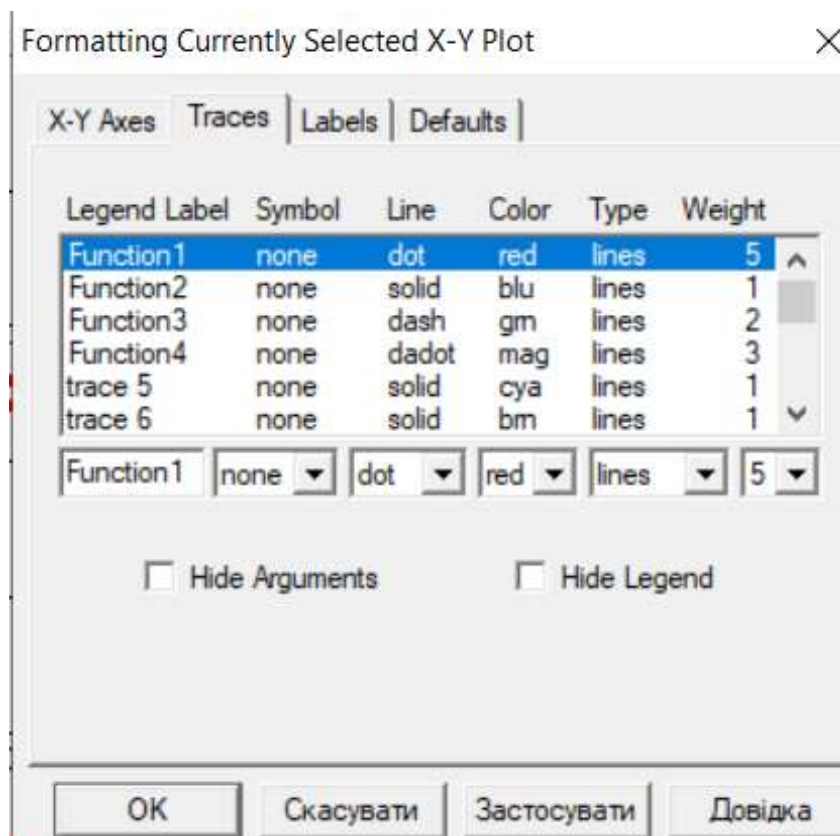


Рисунок 2.38 – Приклад налаштувань формату ліній функцій

На рис. 2.39 наведено сформований графік з лініями 4-х функцій на основі даних налаштувань.

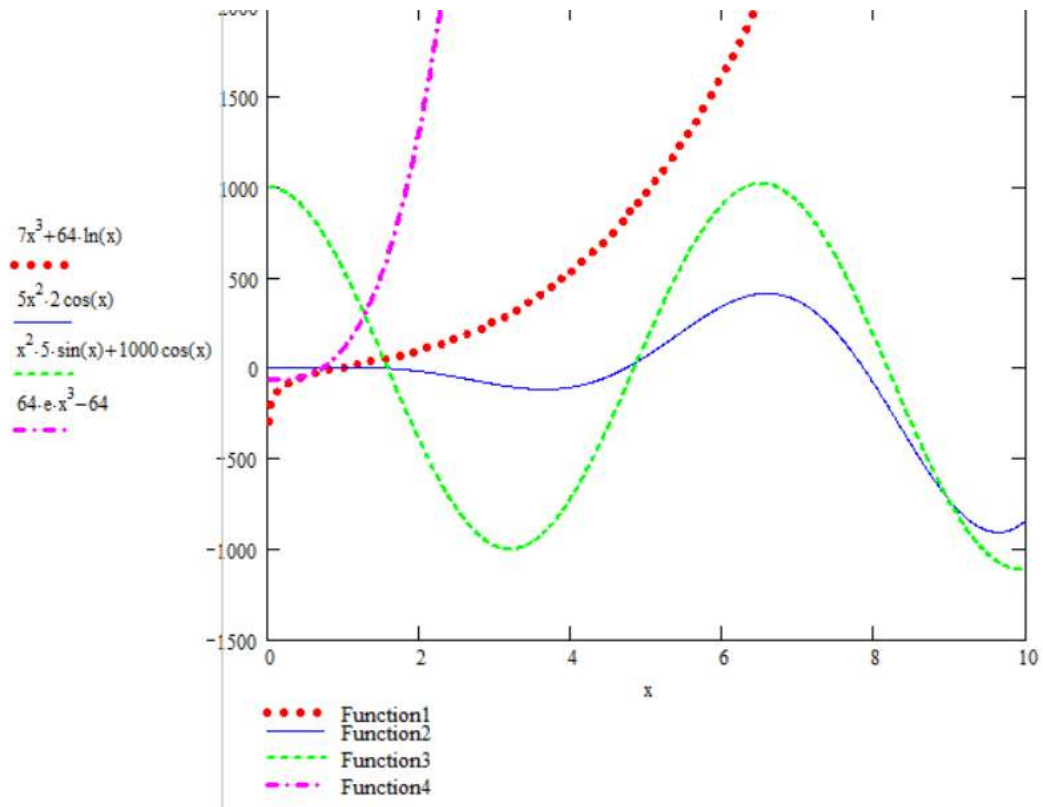


Рисунок 2.39 – Приклад сформованого графіка з лініями із налаштованим форматом

На рис. 2.40 наведено приклад налаштувань формату графіка зі встановленням символів побудови ліній.

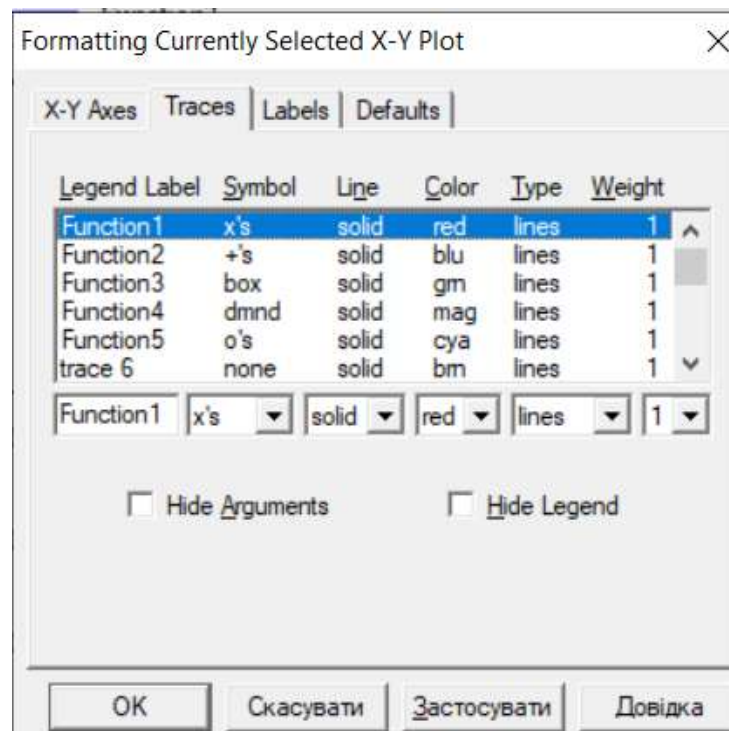


Рисунок 2.40 – Приклад налаштування побудови ліній графіка

На рис. 2.41 зображено графік, побудований відповідно до налаштувань символів побудови ліній (рис. 2.40).

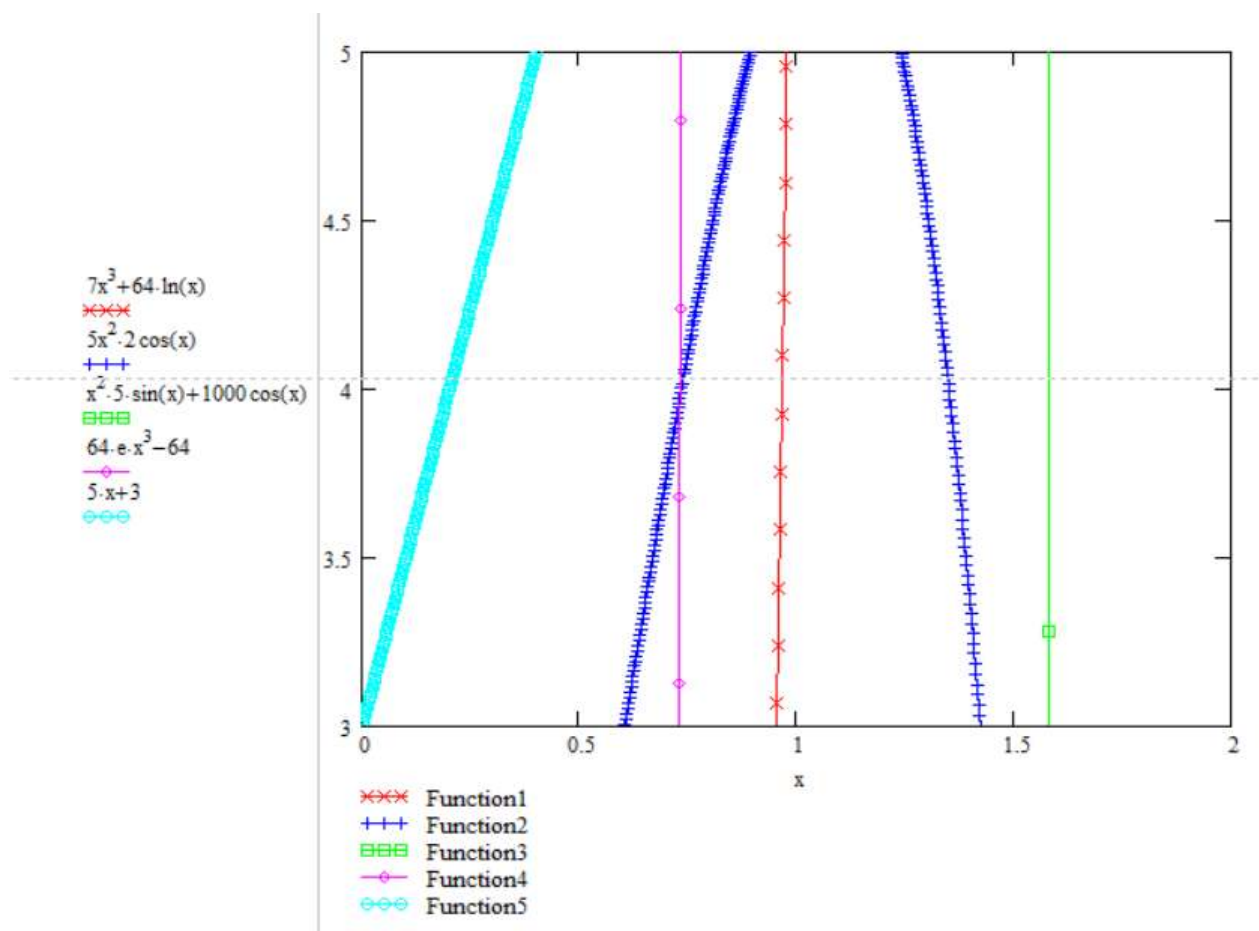


Рисунок 2.41 – Приклад сформованого графіка із налаштованими символами побудови ліній

Розглянемо інші типи подання залежностей на 2D-графіка, окрім Lines («Лінії»), що визначаються параметром Type.

Тип залежності на графіку Draw («Рисувати»), на відміну від Lines, не дозволяє використовувати спеціальні символи для побудови ліній.

Тип Points («Точки») призначений, насамперед, для візуалізації дискретних наборів залежностей між аргументами та значеннями функцій. У стовпці параметра Symbol (рис. 2.42) потрібно обрати тип відображення точок на графіку.

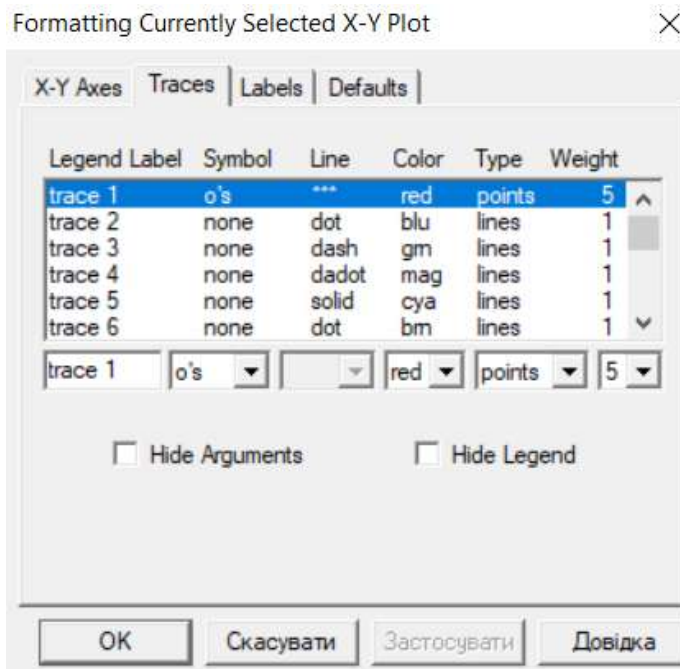


Рисунок 2.42 – Приклад налаштування типу залежностей на графіку Points

На рис. 2.43 зображено сформований 2D-графік на основі типу залежностей Points. Для подання точок використовується символ «o». Аргументи та значення функції задано за допомогою векторів з 5 чисел.

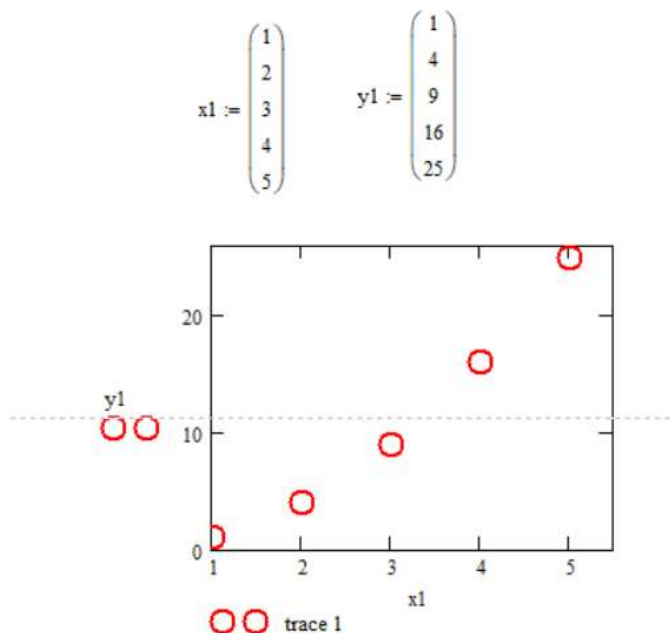


Рисунок 2.43 – Приклад візуалізації дискретного набору значень функції на основі типу залежностей Points

Іншими типами залежностей на 2D-графіку, призначеними для візуалізації дискретних даних є Bar (стовпчикова діаграма, рис. 2.44, а), Solid Bar (гістограма, рис. 2.44, б), Step (сходиноква діаграма, рис. 2.45, а), Stem (стрижневий графік, рис. 2.45, б).

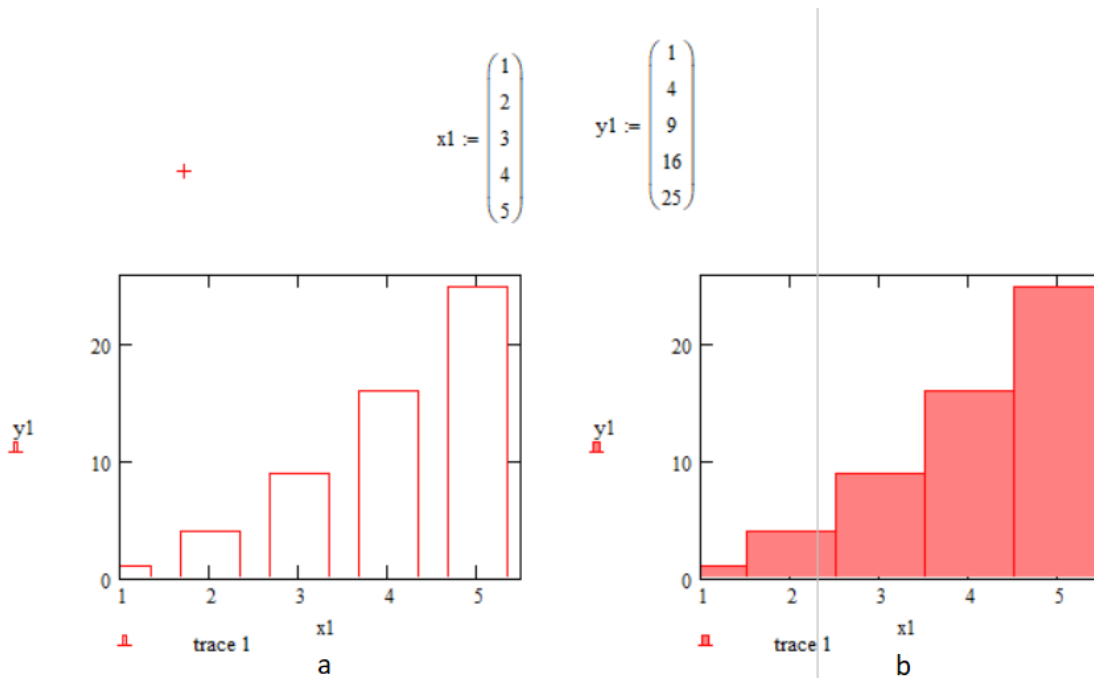


Рисунок 2.44 – Приклади побудованих стовпчикової діаграми (а) та гістограми (б) на основі дискретного набору даних

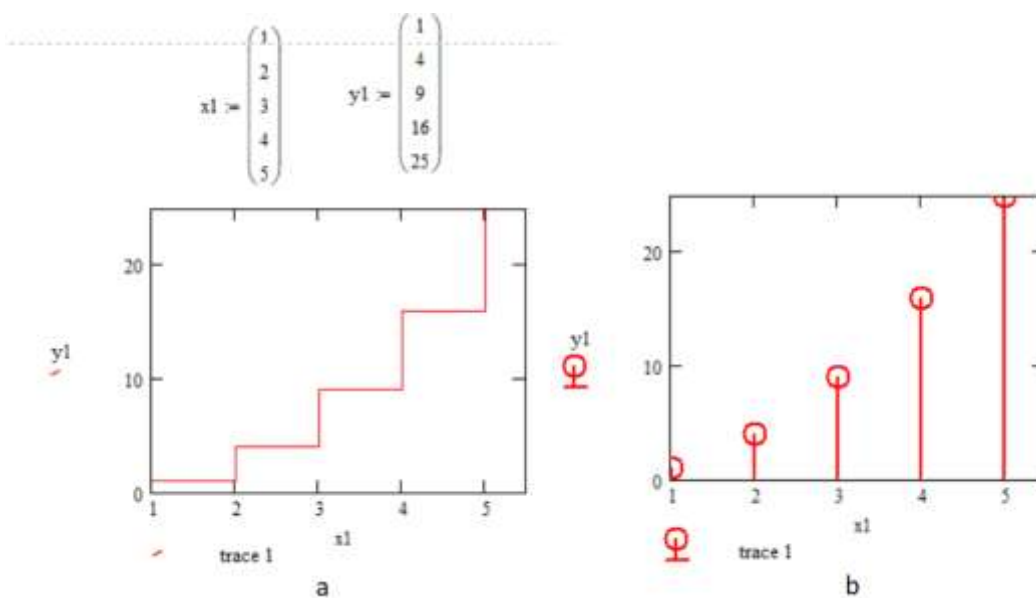


Рисунок 2.45 – Приклади побудованих сходиноквої (а) та стрижневої діаграм (б) на основі дискретного набору даних

На відміну від стовпчикової діаграми, стовпці гістограми заповнені кольором і є суміжними. Особливістю сходинкової діаграми є подання зміни вихідних значень набору даних у вигляді послідовності сходинок. На стрижневій діаграмі вихідні значення набору даних поєднуються з віссю аргументів X за допомогою перпендикулярів.

Тип залежності Error призначений для візуалізації відхилень між значеннями двох послідовно заданих функцій. Відповідно, для двох сусідніх рядків у таблиці вкладки Traces має бути зазначено тип Error. Область відхилень значень функцій буде заповнено кольором, вказаним у колонці параметра Color першої з функцій.

Наприклад, на рис. 2.46 наведено графіки оригінальної функції $1/(1-x)$ та виразу, отриманого шляхом її розкладу у ряд Маклорена.

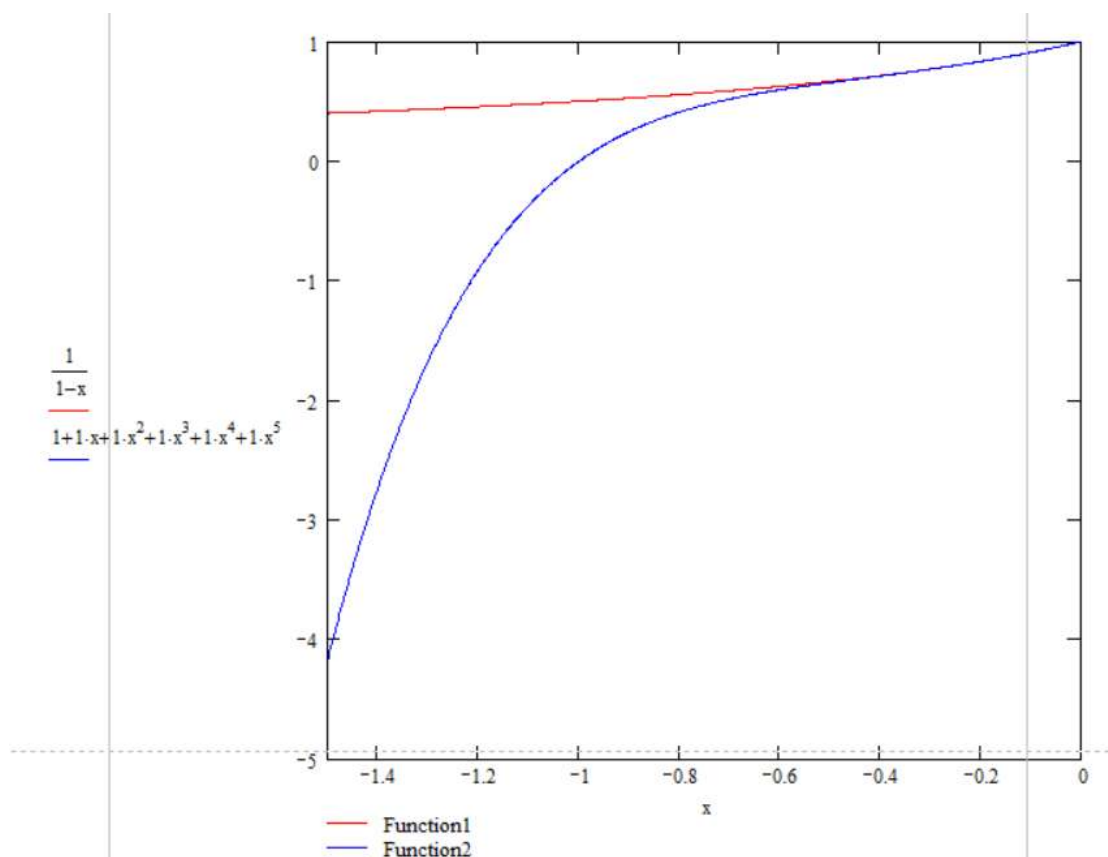


Рисунок 2.46 – Приклад графіків оригінального виразу та його апроксимаційного виразу

Встановлюємо параметр Type для даних функцій як Error (рис. 2.47). У колонці параметра Color вибираємо червоний колір для першої функції.

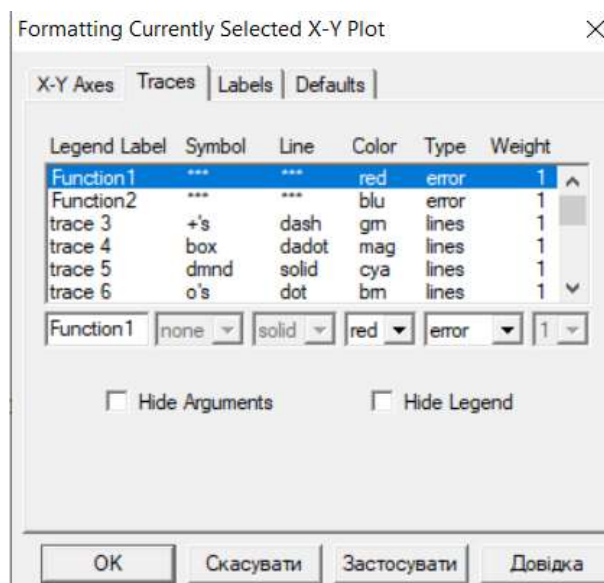


Рисунок 2.47 – Налаштування типу залежностей Error для двох сусідніх функцій

На рис. 2.48 наведено виділену червоним область відхилень між значеннями двох функцій.

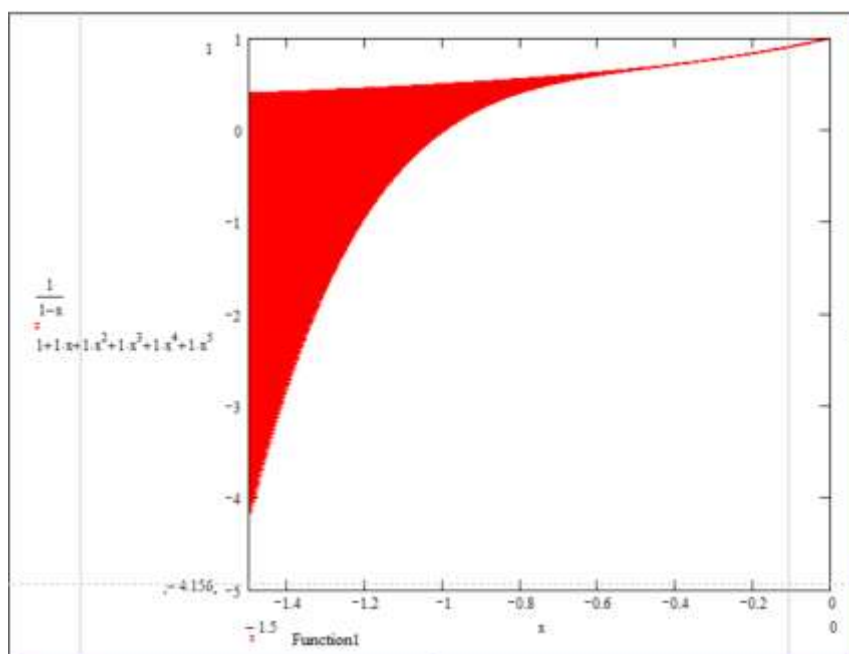


Рисунок 2.48 – Виділення кольором області відхилень значень між двома функціями

Якщо використовується дискретний набір даних, відхилення між значеннями візуалізуються у вигляді вертикальних векторів (рис. 2.49).

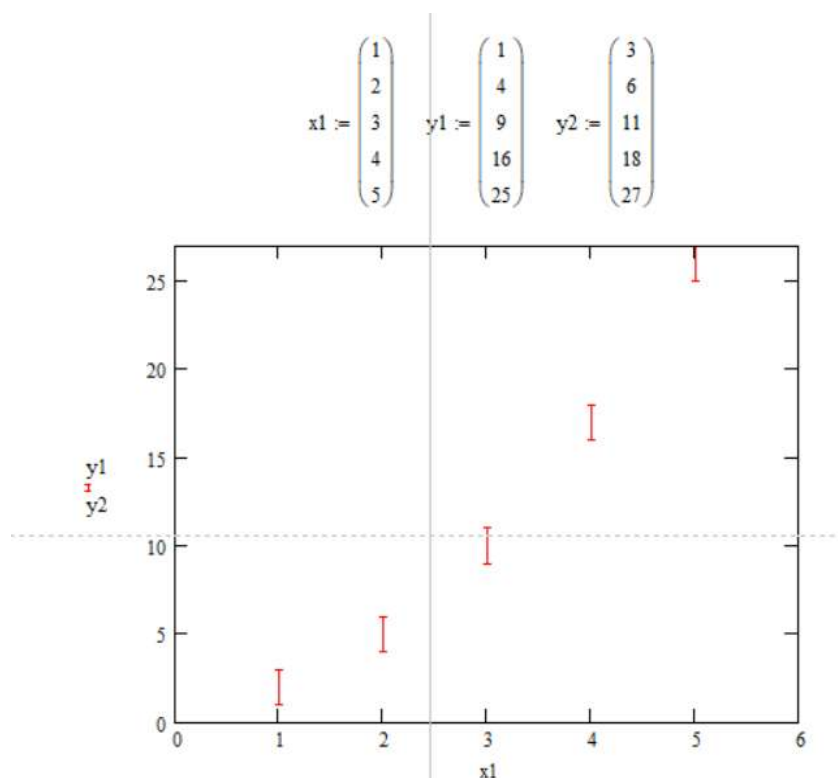


Рисунок 2.49 – Приклад візуалізації відхилень між дискретними наборами значень функцій

2.6 Налаштування підписів на 2D-графіку

Для редагування підписів осей графіка та назви графіка призначена вкладка Labels вікна Formatting Currently Selected X-Y Plot.

Назва графіка зазначається у полі Title. Якщо назва має розміщуватись вище графіка, потрібно вибрати радіокнопку Above, якщо назва має розташовуватись нижче, - радіокнопку Below. Для виведення назви графіка на екран обов'язково потрібно поставити позначку біля Show Title.

Назви осей аргументів X і значень Y вказуються у відповідних полях групи Axis Labels. Аналогічно, для відображення назв осей необхідно поставити позначки біля X-Axis, Y-Axis.

На рис. 2.50 наведено приклад зазначення назва графіка та його осей у вкладці Labels.

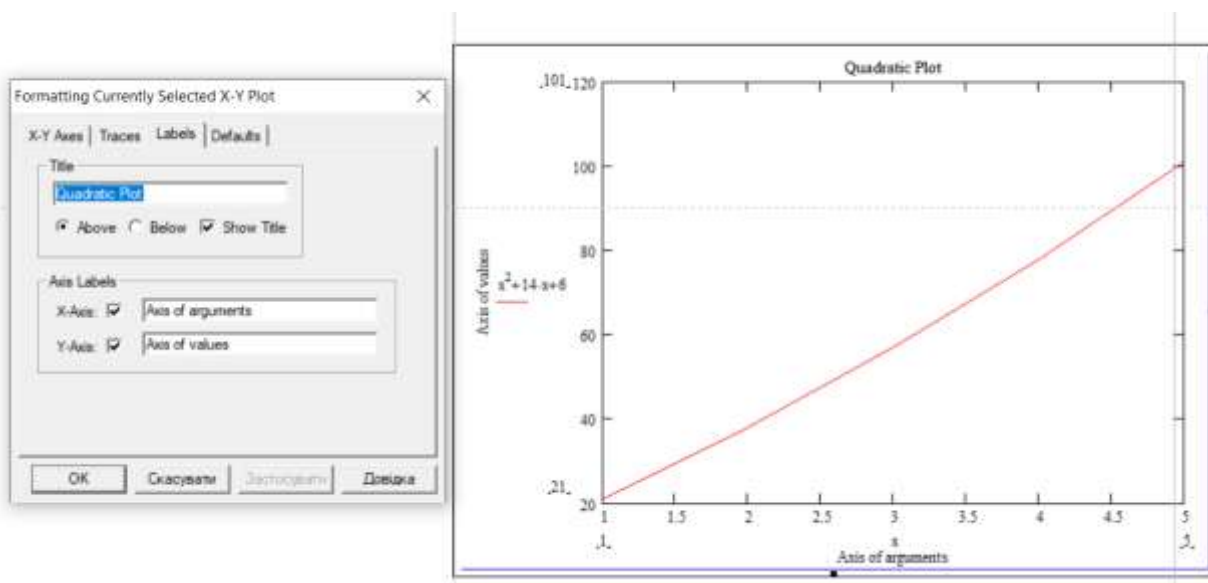


Рисунок 2.50 – Приклад зазначення назв графіка і осей у вкладці Labels

Інший спосіб додання назв графіків і осей полягає у створенні текстових полів (Insert->Text Region) і розміщенні їх у відповідних місцях графіка. Забезпечується можливість швидкого редагування розміру та типу шрифту за допомогою панелі Formatting (рис. 2.51). Однак, створені таким чином підписи «не прив'язані» до самого графіка й не реагують на його переміщення.

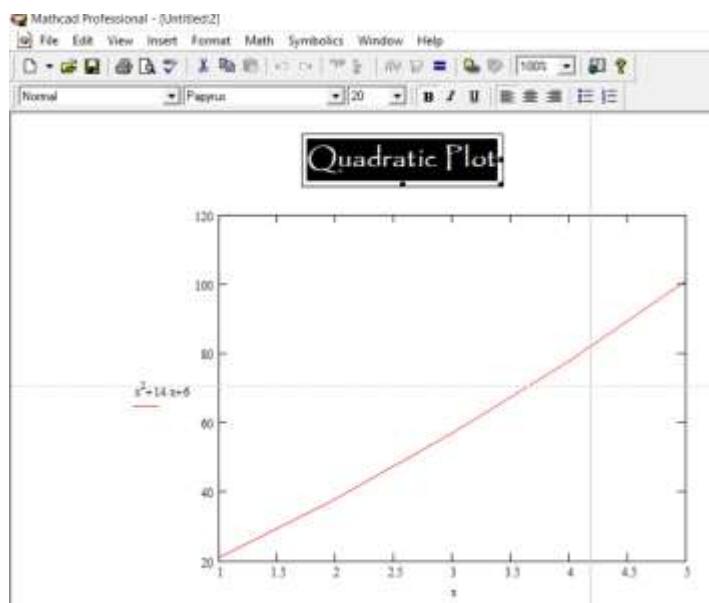


Рисунок 2.51 – Формування підпису графіка за допомогою текстового поля і панелі Formatting

2.7 Встановлення налаштувань 2D-графіка за замовчуванням

У вкладці Defaults (рис. 2.52) вікна Formatting Currently Selected X-Y Plot можна повернути налаштування графіка за замовчуванням, натиснувши кнопку Change to Defaults. Якщо поставити позначку біля Use for Defaults, наявні налаштування графіка будуть вважатися налаштуваннями за замовчуванням для відповідного документа.

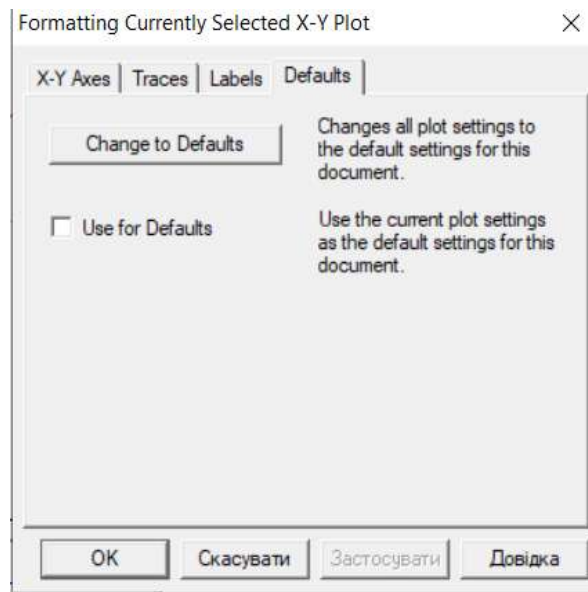


Рисунок 2.52 – Вкладка Defaults вікна налаштування формату графіка

3 ПОБУДОВА ГРАФІКІВ У ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ В MATHCAD

3.1 Полярна система координат у Mathcad

Наступним типом графіків, що можуть бути побудовані у Mathcad, є графік у полярній системі координат (Polar Plot).

Полярна система координат полягає у тому, що кожна координата задається за допомогою радіальної координати (відстані до початку координат) r та кутової координати φ (кута від нульового променя).

Додання графіка у полярній системі координат до робочого аркуша Mathcad здійснюється аналогічно доданню графіка у декартовій системі координат (див. рис. 1.1 – 1.3). Зокрема, можна використати комбінацію клавіш Ctrl+7.

У полі нижче графіка вказується аргумент (кутова координата), а у полі лівіше графіка вираз чи функція обчислення радіальної координати (рис. 3.1).

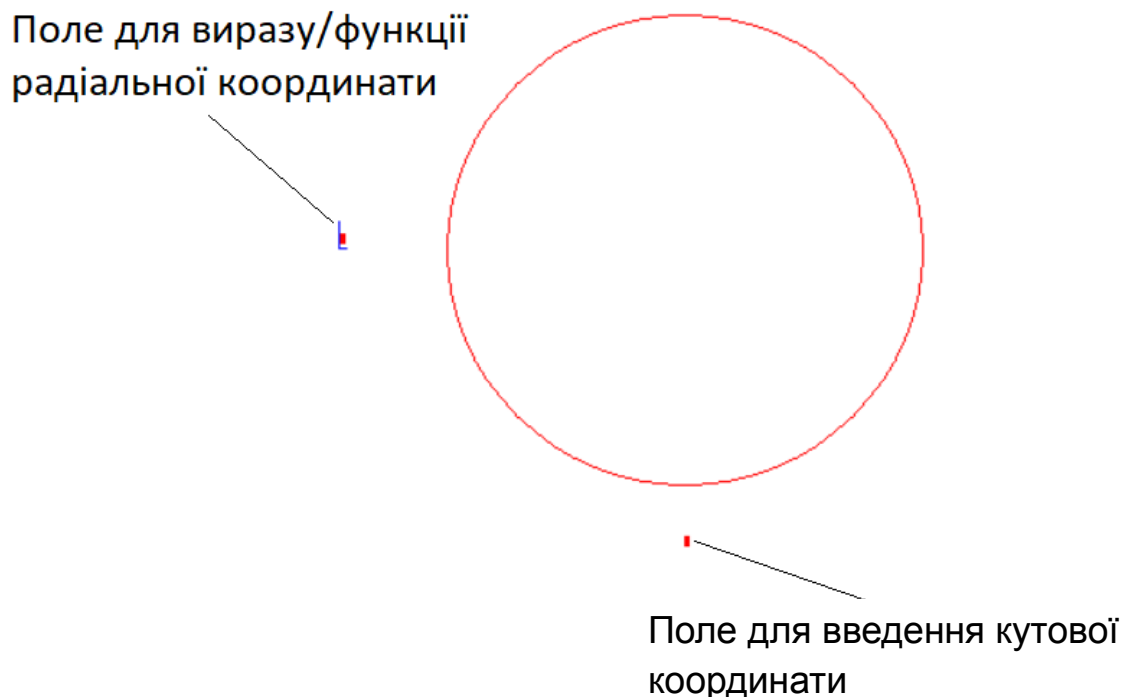


Рисунок 3.1 – Поля для побудови графіка у полярній системі координат

Приклад побудованого графіка у полярній системі координат наведено на рис. 3.2.

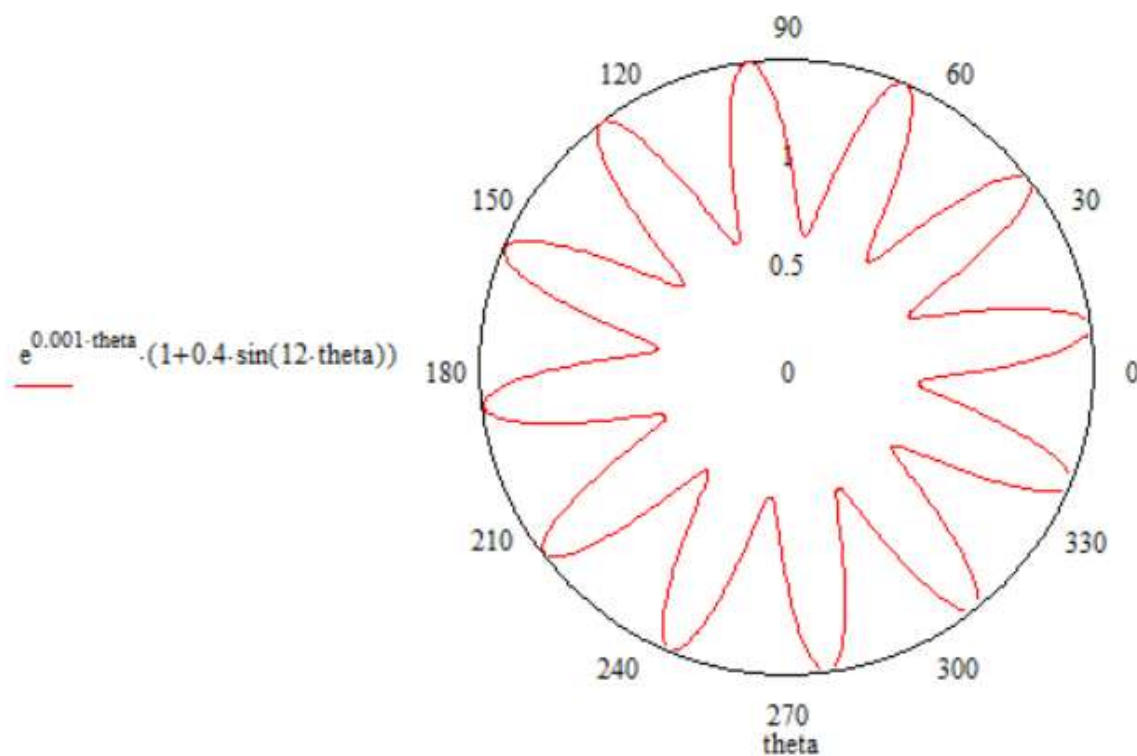


Рисунок 3.2 – Приклад побудованого графіка у полярній системі координат

3.2 Налаштування формату графіків у полярній системі координат

Загалом, налаштування формату графіків у полярній системі координат здійснюється майже так само, як налаштування формату графіків у декартовій системі координат.

Вікно налаштування формату графіка у полярній системі координат (Formatting Currently Selected Polar Plot) викликається через контекстне меню графіка натисканням двічі лівою клавішею на графік або через меню Mathcad (Format->Graph->Polar Plot) (див. рис. 2.28).

На відміну від вікна Formatting Currently Selected X-Y Plot для графіків у декартовій системі координат, вікно Formatting Currently Selected Polar Plot передбачає налаштування кутової та радіальної осей (вкладка Polar Axes, рис. 3.3).

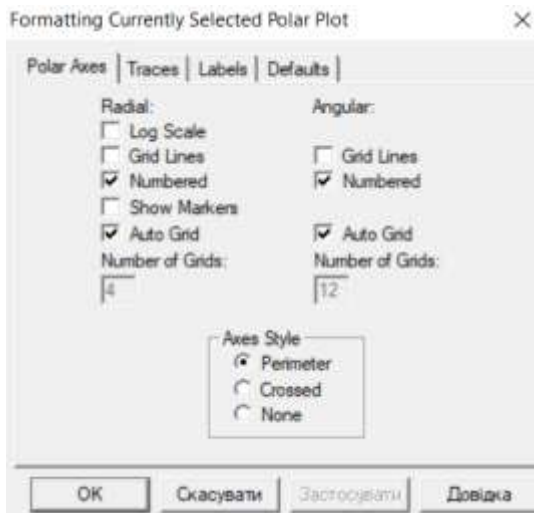


Рисунок 3.3– Вікно налаштування формату графіка у полярній системі координат

Основними стилями осей графіків у полярній системі координат є Perimeter і Crossed. Периметричний (Perimeter, рис. 3.4, а) стиль полягає у тому, що поділки кутової осі розташовуються по периметру кола, проведеного навколо робочої області графіка. Поділки радіальної осі розташовуються відносно невидимого радіуса кола. Хрестоподібний (Crossed, рис. 3.4, б) стиль полягає у розташуванні поділок радіальної осі по двох взаємно перпендикулярних лініях. Поділки кутової осі розміщуються по невидимому колу проти часової стрілки.

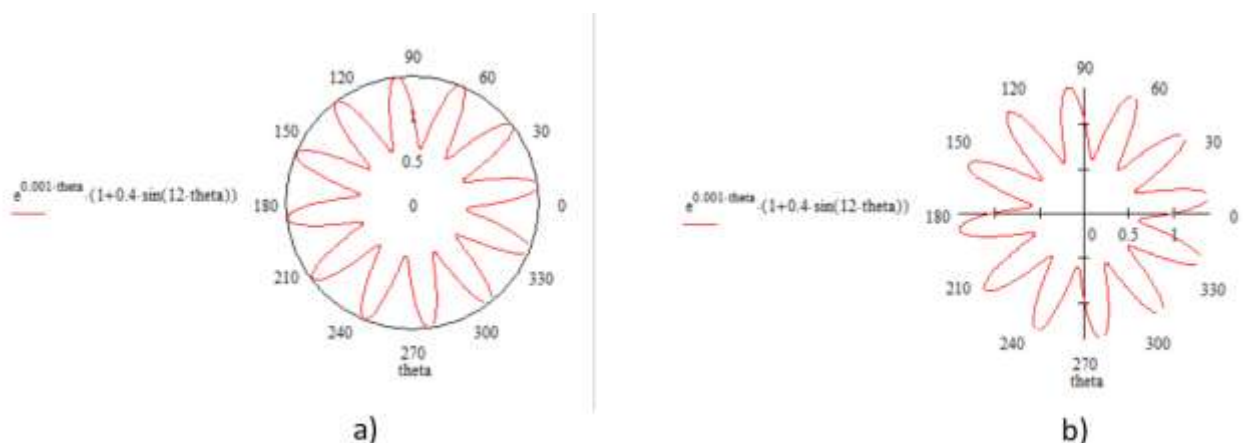


Рисунок 3.4 – Периметричний (а) та хрестоподібний (б) стилі графіка у полярній системі координат

Вкладка Traces вікна Formatting Currently Selected Polar Plot забезпечує налаштування формату ліній графіка у полярній системі координат.

На рис. 3.5 наведено приклад налаштування формату ліній двох функцій у полярній системі координат за допомогою вкладки Traces. На рис. 3.6 наведено сформований графік на основі даних налаштувань.

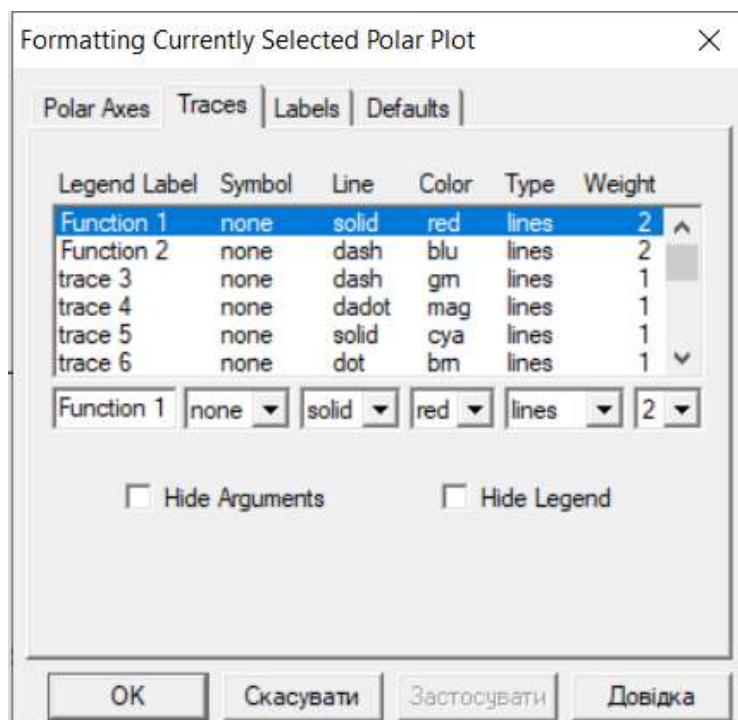


Рисунок 3.5– Приклад налаштування формату ліній функцій у полярній системі координат за допомогою вкладки Traces

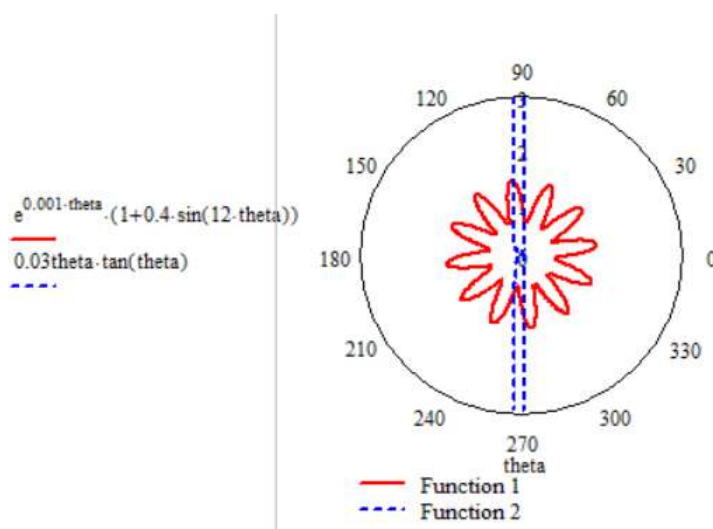


Рисунок 3.6 – Приклад графіка з налаштованими форматами ліній у полярній системі координат

Вкладка Labels вікна Formatting Currently Selected Polar Plot призначена для задання назви графіка. Вкладка Defaults дозволяє повернутись до налаштувань формату графіка за замовчуванням або встановити наявні налаштування за замовчуванням.

Діапазон значень кутової осі графіка у полярній системі координат за замовчуванням становить $[0; 2\pi]$. За необхідності візуалізації графіка відносно меншого діапазону значень кутової осі, вище графіка можна задати інтервал зміни значення кута (рис. 3.7).

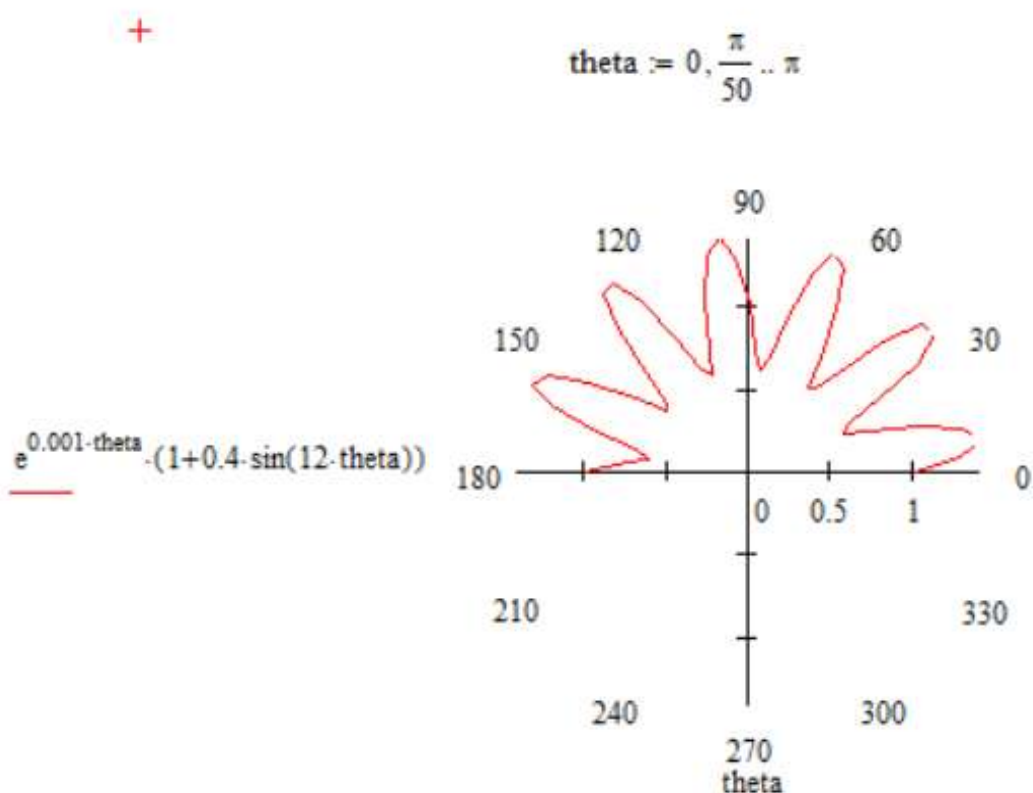


Рисунок 3.7 – Приклад обмеження значення кута, відносно якого формується графік у полярній системі координат

Коректний діапазон значень радіальної осі визначається автоматично, однак за потреби діапазон може бути змінений. Для цього, необхідно ввести нові нижнє і верхнє граничні значення діапазону у відповідних полях (рис. 3.8).

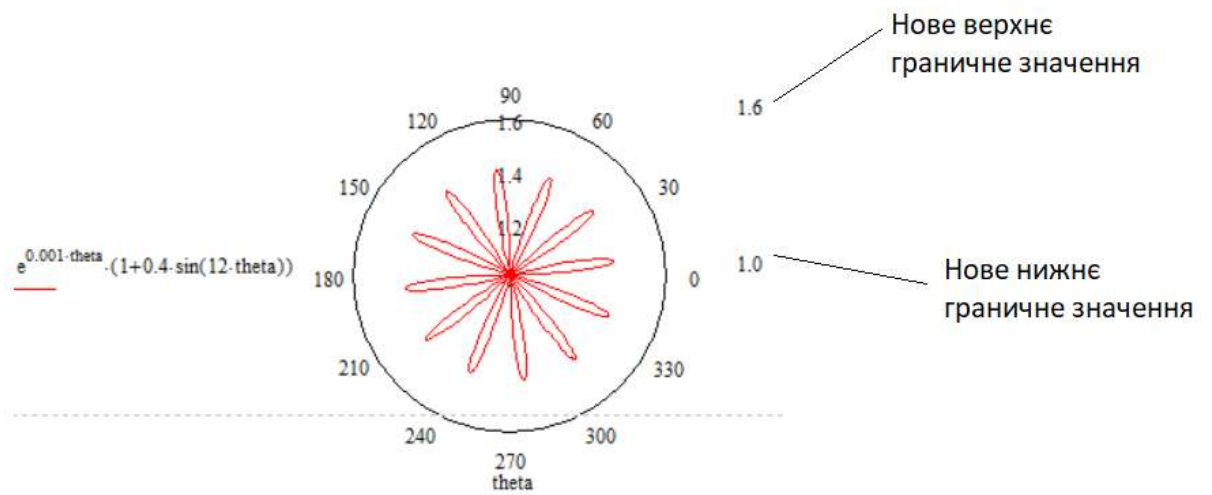


Рисунок 3.8 – Приклад зміни діапазону значень радіальної осі графіка у полярній системі координат

4 ПОБУДОВА 3D-ГРАФІКІВ У MATHCAD

4.1 Тривимірні графіки у Mathcad і способи їх побудови

Тривимірний графік у Mathcad – це графік, що формується відносно двох аргументів функції. Шаблон побудови тривимірного графіка додається у робочий аркуш Mathcad за допомогою комбінації клавіш Ctrl+2, пункту Insert меню Mathcad або панелі Graph (див. рис. 1.1–1.3). Окрім того, 3D-графік можна створити за допомогою конструктора 3D Plot Wizard, що описано наприкінці розділу.

Задання даних для формування тривимірного графіка можна здійснити декількома способами. Шаблон тривимірного графіка (рис. 4.1) містить лише одне поле для задання даних.

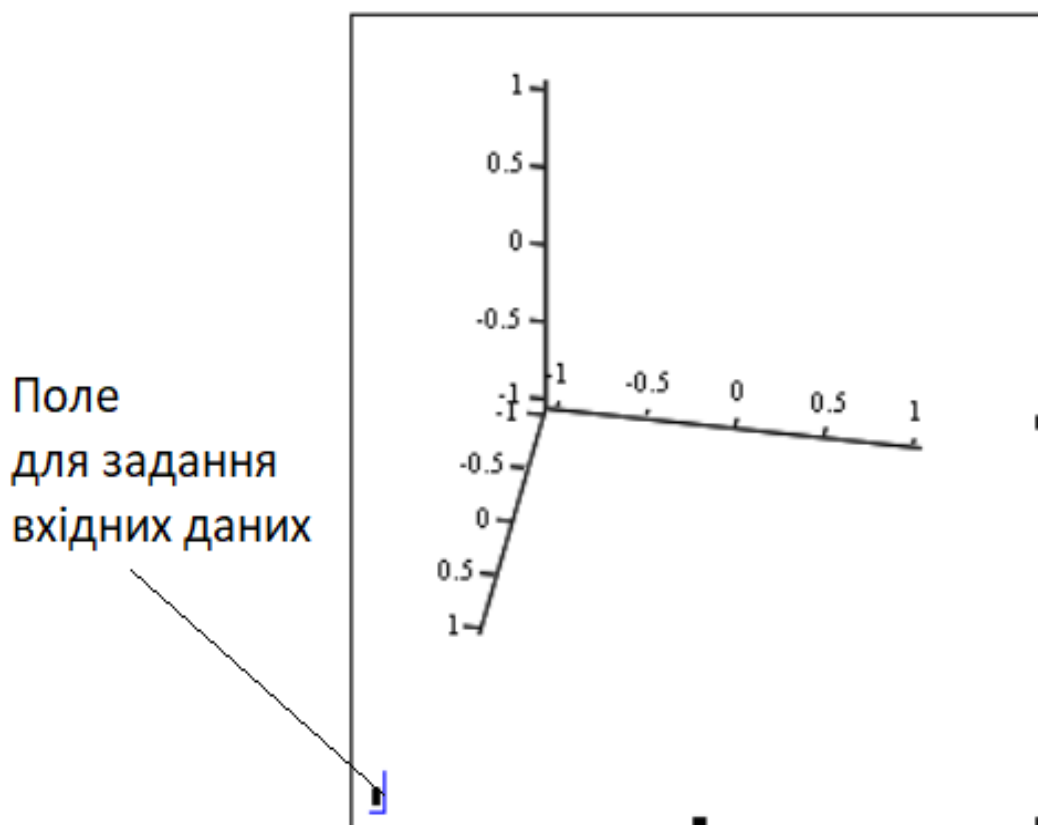
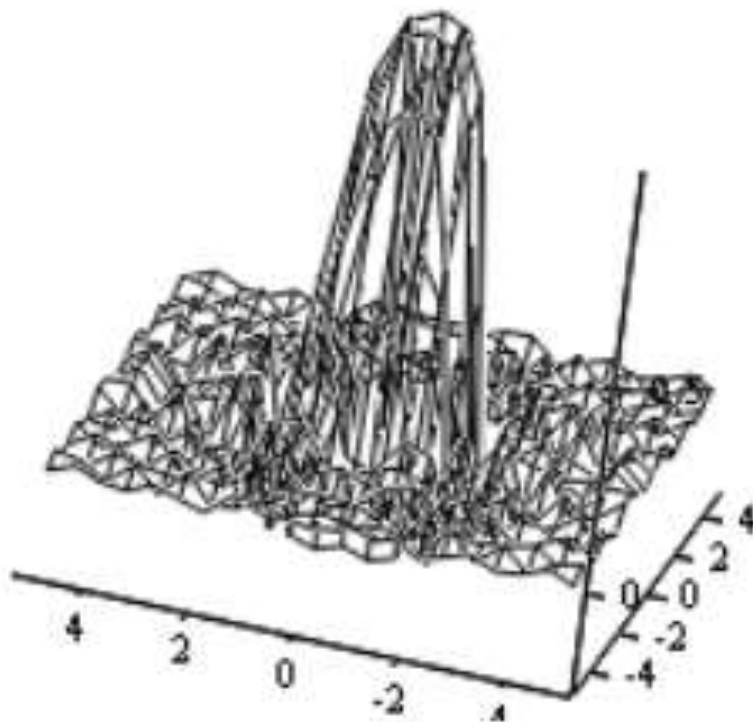


Рисунок 4.1 – Шаблон побудови тривимірного графіка

Найбільш простий спосіб полягає у визначенні функції двох змінних та доданні її назви у поле графіка (рис. 4.2).

$$F(x, y) := \frac{\sin(x^2 + y^2)}{x^2 + y^2 + 0.001}$$



F

Рисунок 4.2 – Формування 3D-графіка на основі додання назви функції

Більш складний спосіб передбачає матричне задання наборів аргументів функції двох змінних. Для кожного з аргументів зазначаються інтервал індексів, матриця, що містить значення аргументу (дублюються по одному з вимірів матриці), а також вираз зміни аргументу залежно від відповідного йому індексу. Окрім того, задається матриця, що містить значення функції двох змінних. Даній матриці присвоюється вираз, що включає матриці обох аргументів.

На рис. 4.3 наведено приклад задання матриць аргументів і функції двох змінних для подальшої побудови тривимірного графіка. Додатково відображено вміст зазначених матриць.

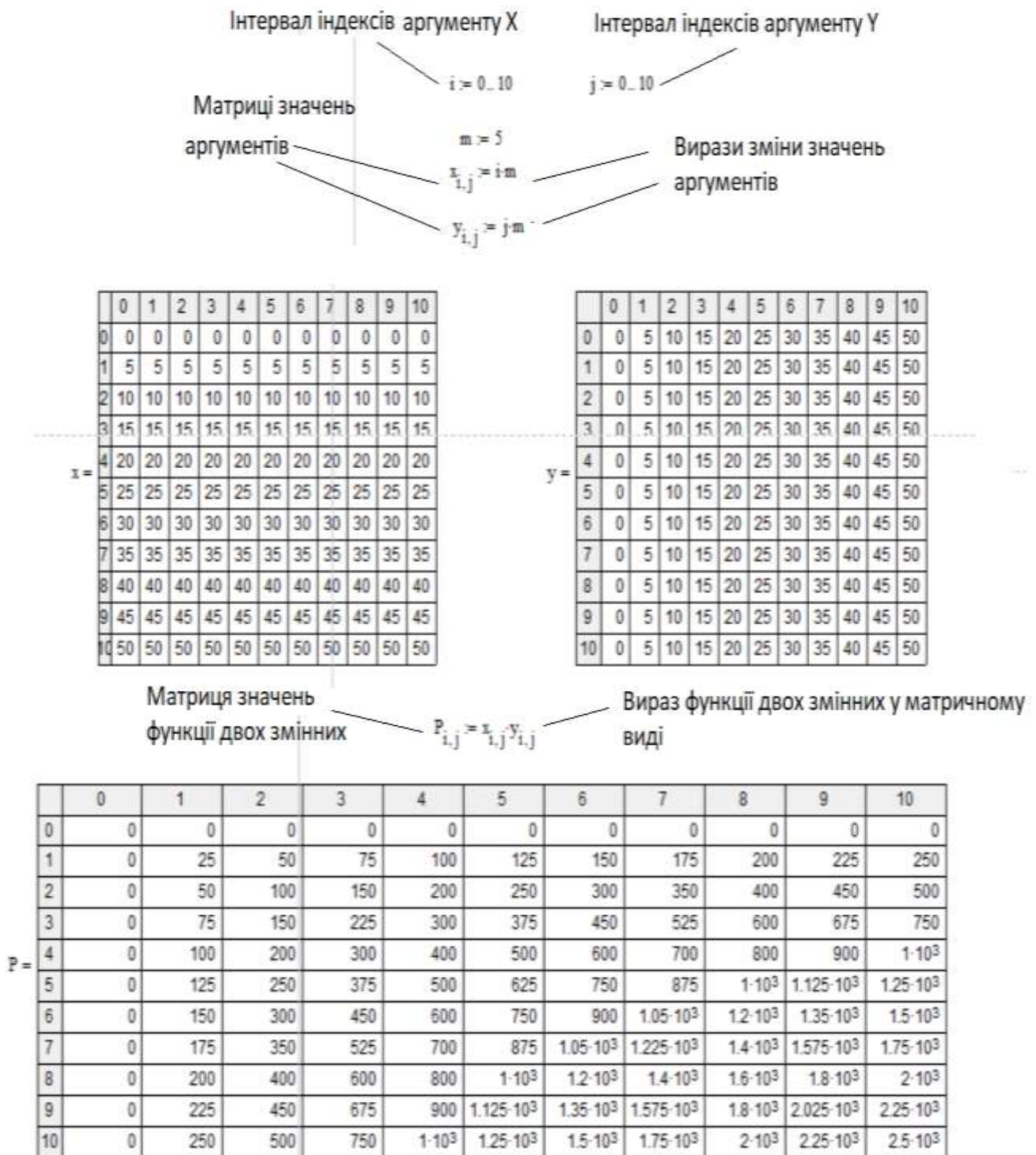
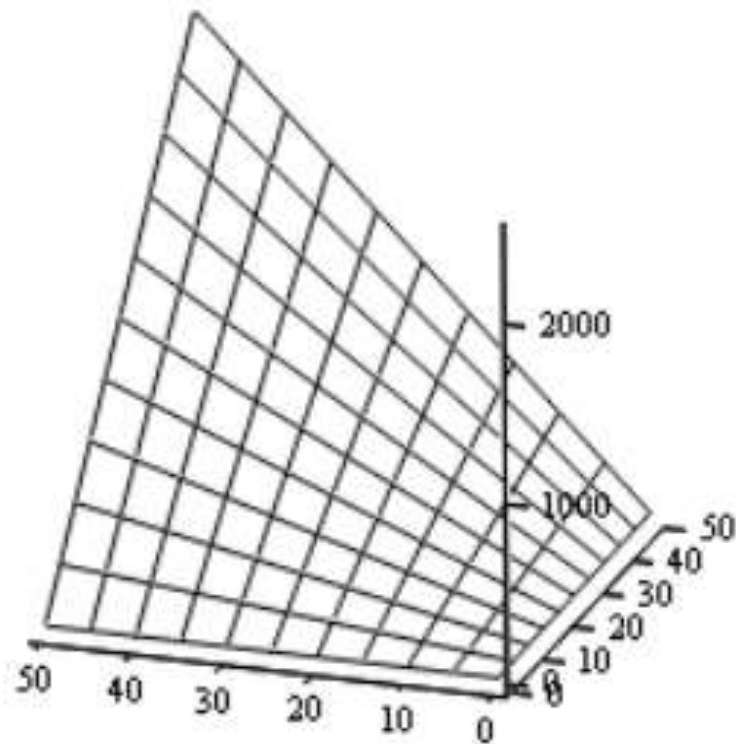


Рисунок 4.3 – Задання матриць аргументів і значення функції для побудови тривимірного графіка

Далі, для формування тривимірного графіка необхідно у полі графіка у круглих дужках вказати назви матриць значень аргументів і матриці значень функції (рис. 4.4). Якщо вказати лише назву матриці значень функції, поділки осей графіка відповідатимуть не значенням аргументів, а їх індексам.



(x, y, P)

Рисунок 4.4 – Побудований 3D-графік на основі матриць аргументів і значень функції

Окрім того, для побудови 3D-графіка можливо використати вбудовану функцію Mathcad CreateMesh (рис. 4.5).

У робочій області Mathcad необхідно присвоїти довільній змінній результат виклику функції CreateMesh. У параметрах CreateMesh потрібно послідовно зазначити назву функції двох змінних, мінімальне й максимальне значення першого аргументу, мінімальне й максимальне значення другого аргументу, кількість поділок сітки 3D-графіка відносно першого аргументу, кількість поділок сітки 3D-графіка відносно другого аргументу. Після цього, потрібно додати назву відповідної змінної у поле 3D-графіка.

Якщо необхідно відобразити декілька 3D-графіків водночас, їхні назви зазначаються через кому у відповідному полі (без дужок).

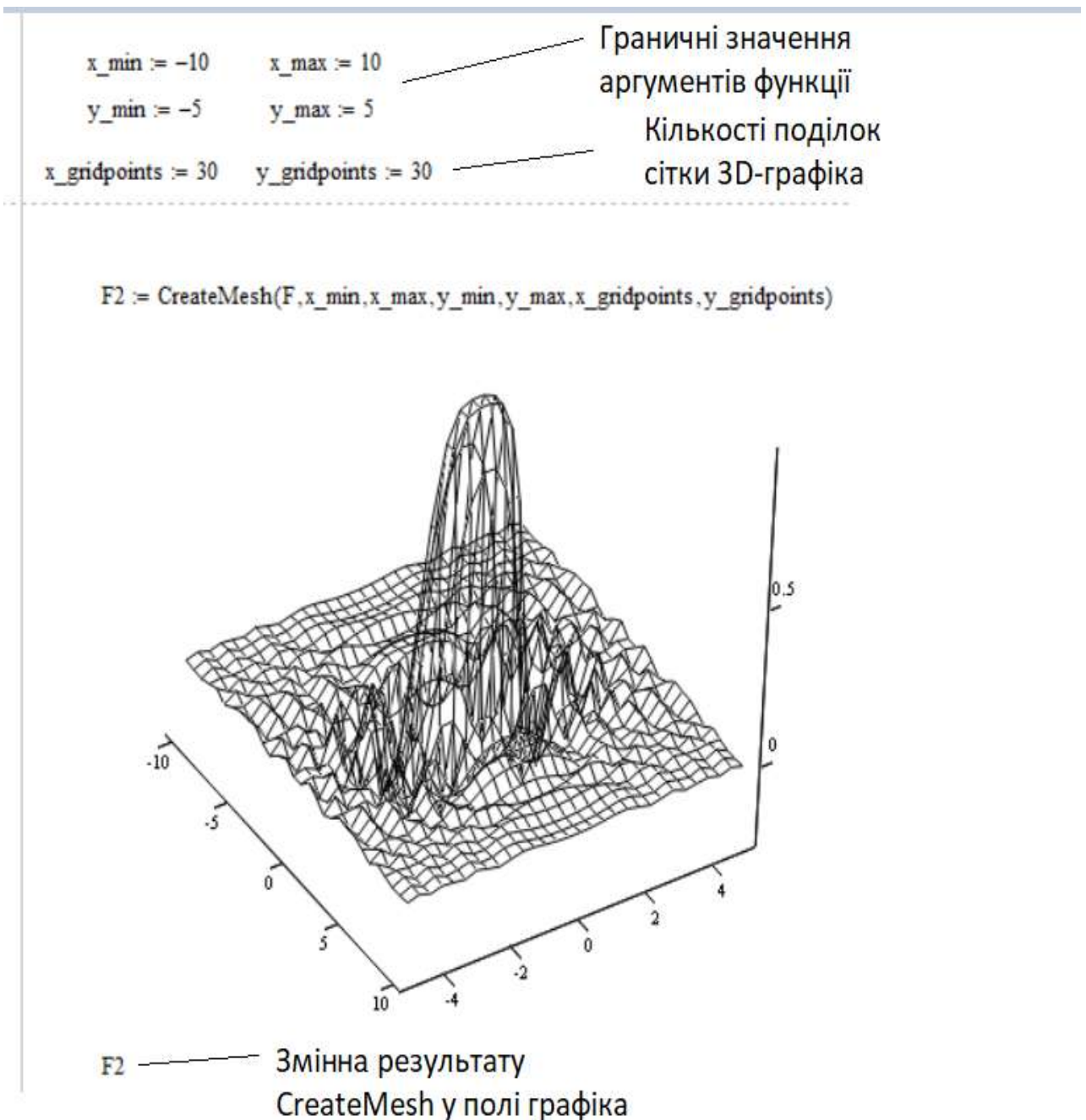


Рисунок 4.5 – Побудова 3D-графіка за допомогою функції CreateMesh

Для побудови 3D-графіка поверхні, заданої параметрично (рис. 4.6), необхідно у робочій області Mathcad зазначити вирази залежності координат X, Y, Z від двох параметрів. Назви змінних координат зазначаються у полі 3D-графіка через кому у дужках. Інтервал зміни параметрів координат варто задавати за допомогою вкладки Quick Plot Data (див. далі у розділі) вікна налаштування формату 3D-графіка.

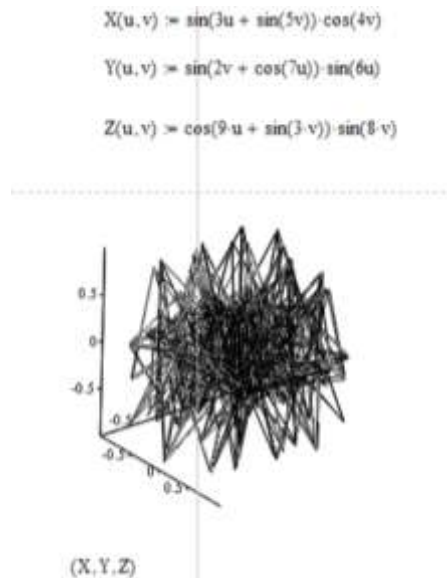


Рисунок 4.6 – Побудований 3D-графік параметрично заданої поверхні

4.2 Загальні налаштування та вибір типу відображення 3D-графіка

Порівняно з іншими типами графіків, 3D-графіки характеризуються більш широкими можливостями налаштування формату у Mathcad.

Як і для інших типів графіків, вікно налаштування формату 3D-графіка 3-D Plot Format (рис. 4.7) можна викликати, натиснувши двічі лівою кнопкою миші на графік, вибравши пункт Format контекстного меню графіка або послідовно вибравши пункти меню Mathcad Format->Graph->3D Plot (див. рис. 2.28).

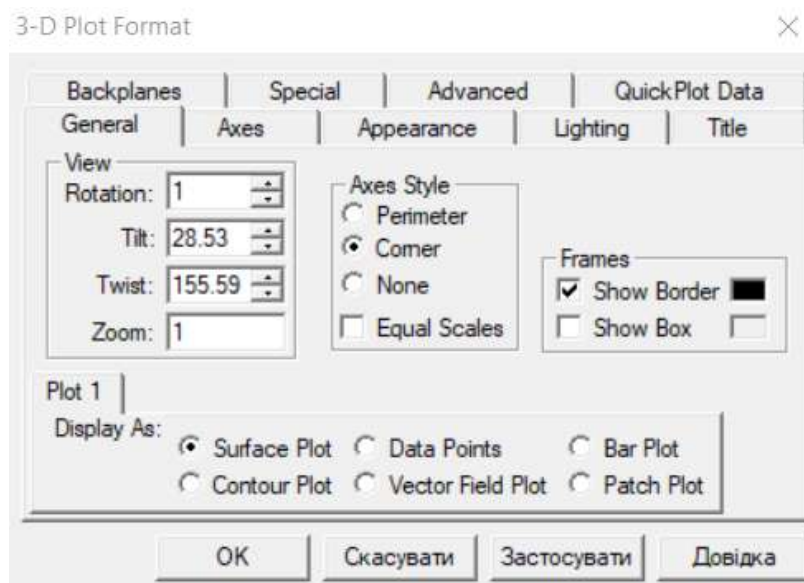


Рисунок 4.7 – Інтерфейс вікна налаштування формату 3-D Plot Format

Вкладка вікна General призначена для задання загальних налаштувань формату графіка. Вкладка містить групи полів View («Вид»), Axes Styles («Стилі осей»), Display As («Відобразити як»), Frames («Рамки») (див. рис. 4.7).

Група полів View призначена для управління видом графіка. Поле Rotation задає кут повороту графіка у градусах навколо осі Z. Діапазон можливих значень кута повороту становить $[-360, 360]$. Розглянемо приклад зміни значення Rotation для графіка, наведеного на рис. 4.8.

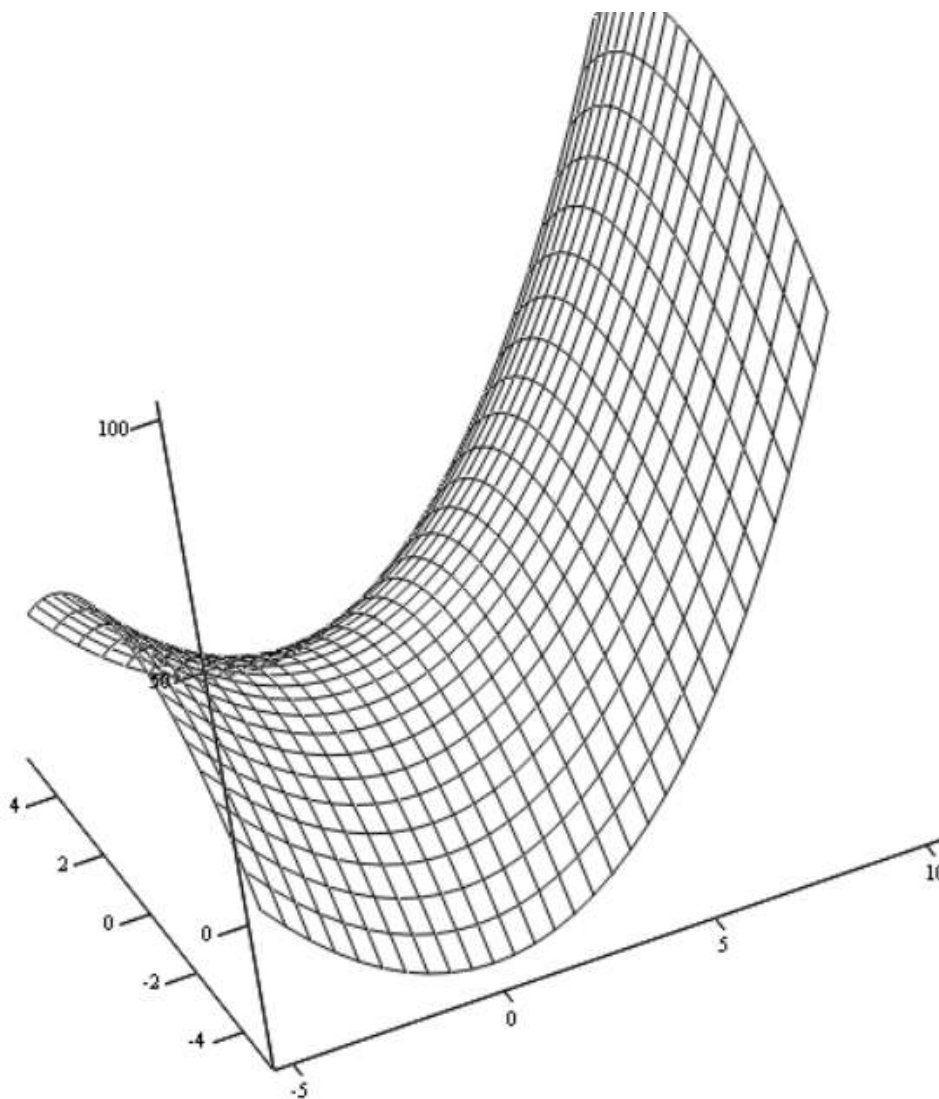


Рисунок 4.8 – 3D-графік для ілюстрації зміни параметра Rotation

На рис. 4.9 зображено вигляд цього графіка для значення Rotation 0, 90, 180, 270, 360. Водночас, значення інших параметрів обертання графіка Tilt, Twist дорівнюють нулю.

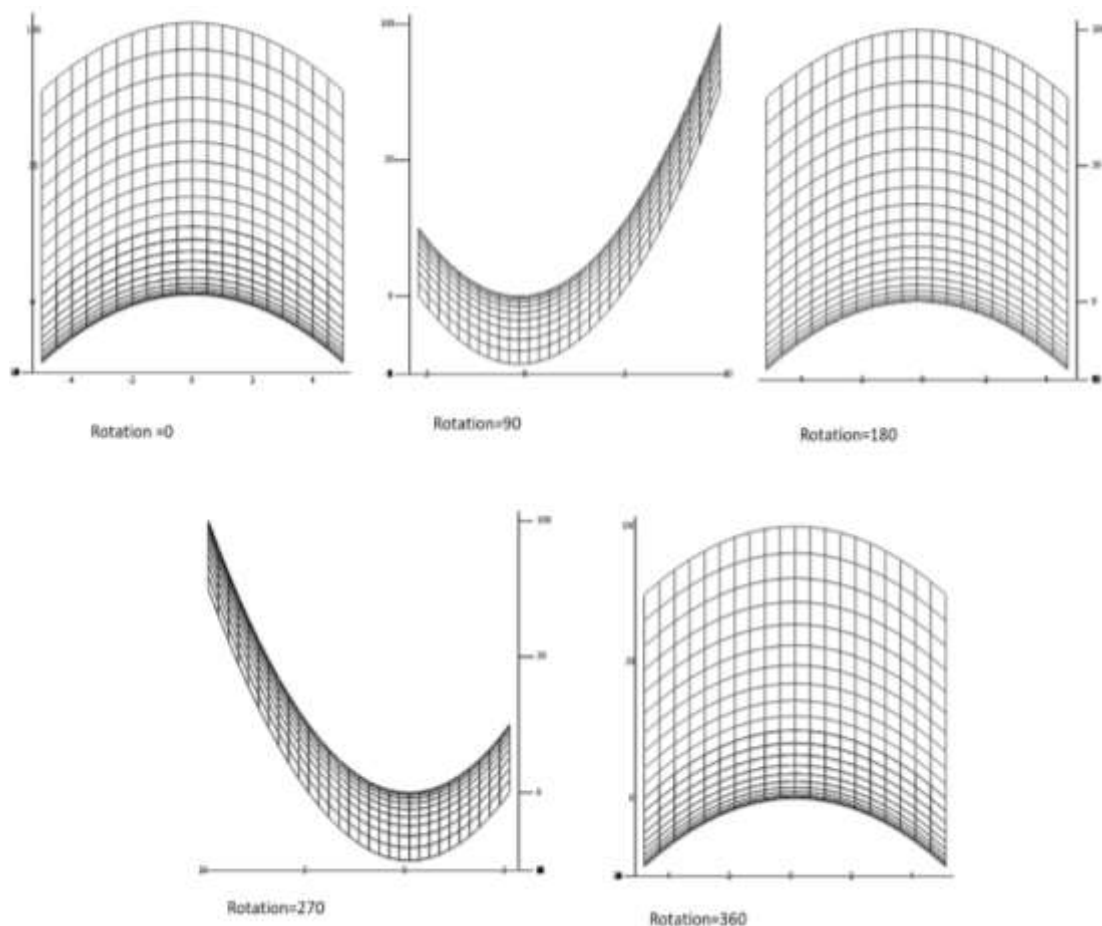


Рисунок 4.9 – Приклад зміни виду 3D-графіка залежно від значення параметра Rotation

Параметр Tilt задає кут обертання графіка у градусах навколо осі X після операції Rotate. Діапазон значень кута повороту становить $[0,180]$. На рис. 4.10 зображено приклад зміни вигляду тривимірного графіка для різних значень Tilt. Значення Rotate і Twist встановлено на рівні 0.

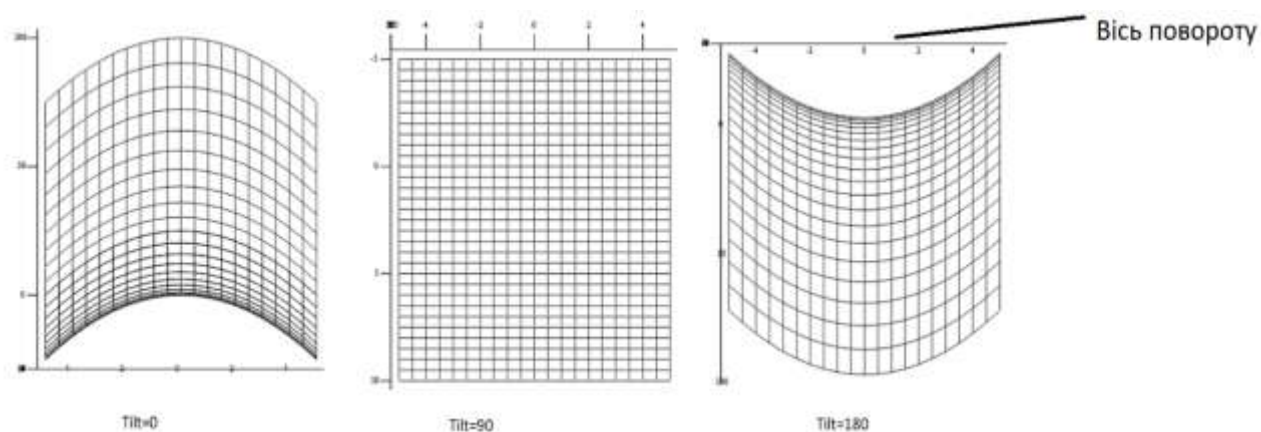


Рисунок 4.10 – Приклад зміни виду 3D-графіка відносно значення Tilt

Параметр Twist задає кут додаткового повороту у градусах навколо осі Z. Додатковий поворот здійснюється після поворотів, заданих змінними Rotate і Tilt. На рис. 4.11 наведено приклад застосування операції Twist після Rotate і Tilt.

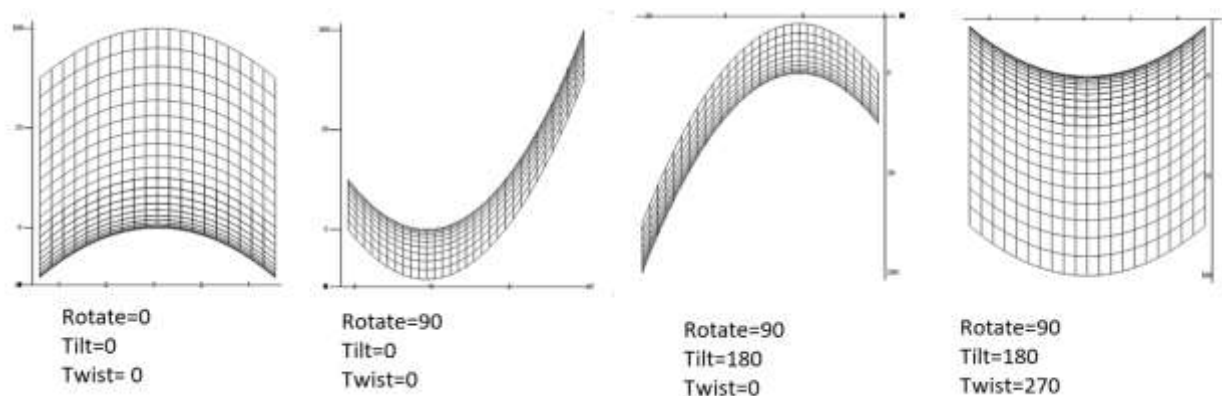


Рисунок 4.11 – Приклад застосування параметра Twist після Rotate, Tilt

Важливо зазначити, що 3D-графік можна обертати, використовуючи комп'ютерну мишу.

Параметр Zoom призначений для зміни масштабу 3D-графіка та має діапазон можливих значень [0.01,100]. На рис. 4.12 зображено приклад візуалізації тривимірного графіка відносно трьох різних значень параметра.

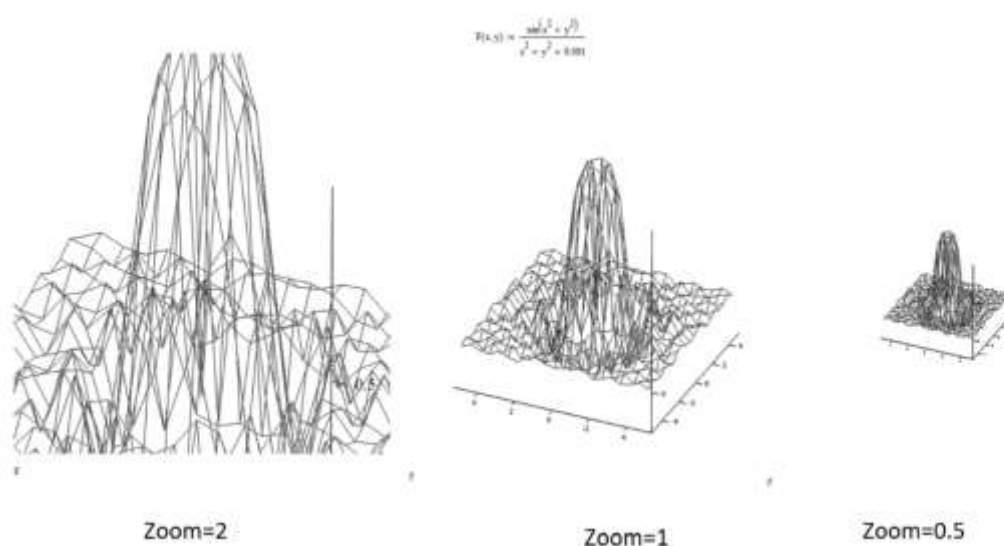


Рисунок 4.12 – Приклад зміни масштабу 3D-графіка за допомогою параметра Zoom

Група полів *Axis Style* (див. рис. 4.7) призначена для встановлення типу взаємного розміщення осей 3D-графіка. У разі вибору *None*, осі графіка не візуалізуються. Тип *Corner* (рис. 4.13, а) полягає у тому, що вертикальна вісь розміщується перпендикулярно до місця з'єднання двох горизонтальних осей. Тип *Perimeter* (рис. 4.13, б) полягає у розміщенні вертикальної осі скраю двох горизонтальних осей.

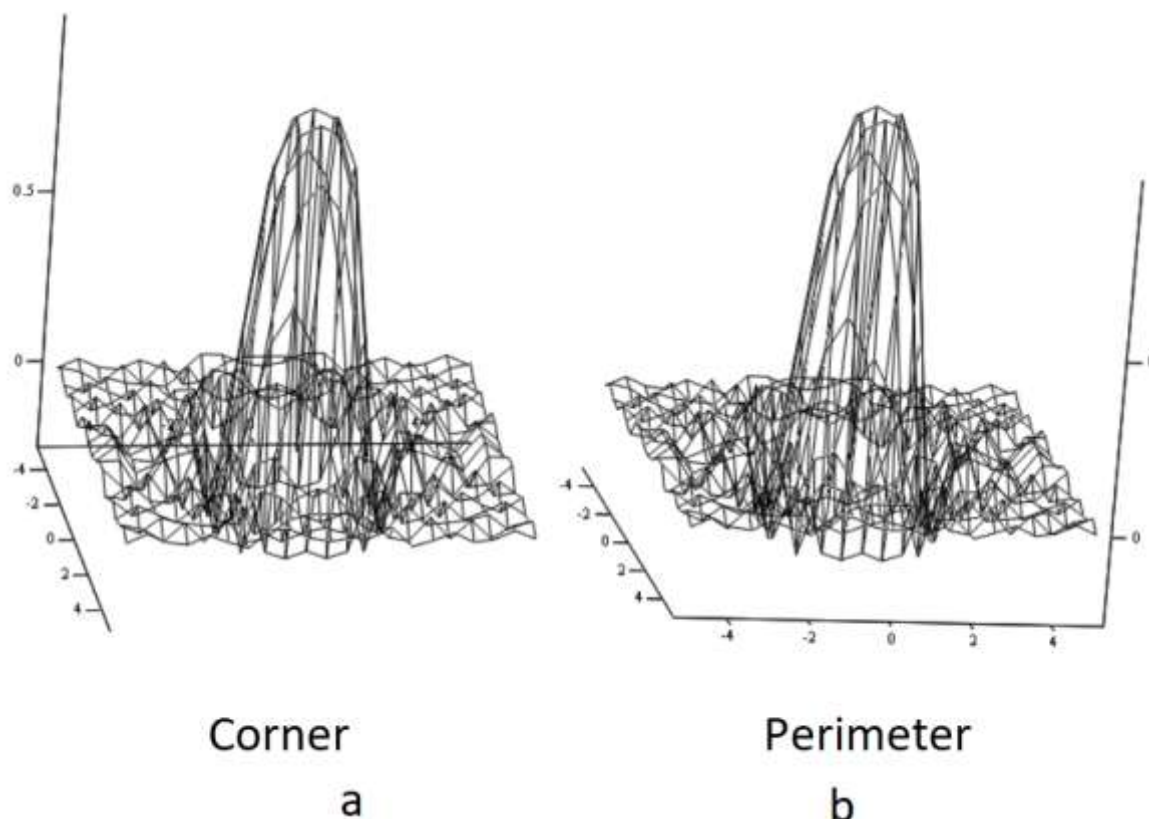


Рисунок 4.13 – Основні типи розміщення координатних осей 3D-графіка

Для того, щоб масштаб усіх осей 3D-графіка був однаковий, необхідно поставити позначку біля *Equal Scales*.

Група полів *Frames* (див. рис. 4.7) призначена для управління візуалізацією границь графіка. Параметр *Show Border* забезпечує візуалізацію границь області графіка, а параметр *Show Box* забезпечує візуалізацію обмежувального об'єму навколо графіка (рис. 4.14). Додатково, натиснувши на кольорові квадрати біля полів параметрів, можна встановити необхідний колір ліній.

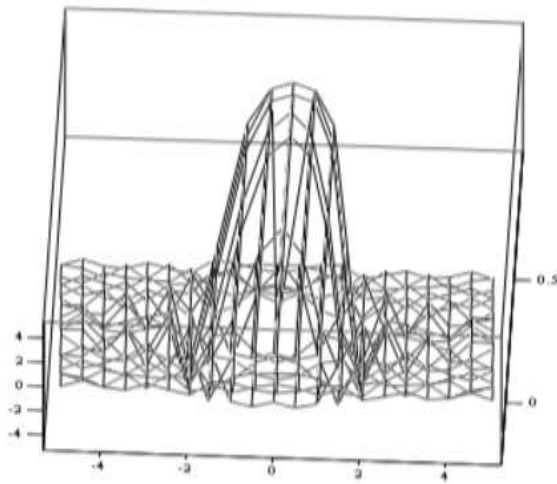


Рисунок 4.14 – Візуалізований обмежувальний об’єм навколо 3D-графіка

Вибрати тип розміщення координатних осей 3D-графіка, а також вирівняти масштаб осей, відобразити обмежувальний об’єм чи границі навколо графіка альтернативно можна за допомогою його контекстного меню.

Група радіокнопок *Display As* (див. рис. 4.7) призначена для задання типу тривимірного графіка. За замовчуванням 3D-графік подається у формі поверхневого графіка (*Surface Plot*, наприклад, див. рис. 4.4 – 4.5, 4.8). Поверхневий графік полягає у відображенні значень функції у вигляді неперервного рельєфу поверхні.

Тип 3D-графіка *Data Points* («Точковий графік», рис. 4.15, а) полягає у поданні значень функції у вигляді набору точок. Інша назва графіка – *3D Scatter Plot* (діаграма розсіювання).

Тип *Bar Plot* («Стовпчиковий графік», рис. 4.15, б) полягає у поданні значень функції двох змінних у вигляді стовпців різної висоти.

Тип *Patch Plot* («Клаптиковий графік», рис. 4.15, с) передбачає подання значень функції у вигляді набору клаптиків.

Для цього типу 3D-графіка та *Data Points*, *Bar Plot* дискретні елементи (клаптики, точки, стовпчики) відповідають заданим у налаштуваннях кількостям поділок сітки поверхні (див. далі).

Тип *Contour Plot* («Графік ізоліній», рис. 4.15, d) полягає у проєкції 3D-графіка на вісь *XY* та побудові відповідних ізоліній. Ізолінії є лініями на

графіку, що з'єднують точки з однаковими значеннями. Наприклад, поширеним є використання графіка ізоліній у географії для подання ділянок однакових висот рельєфу поверхні.

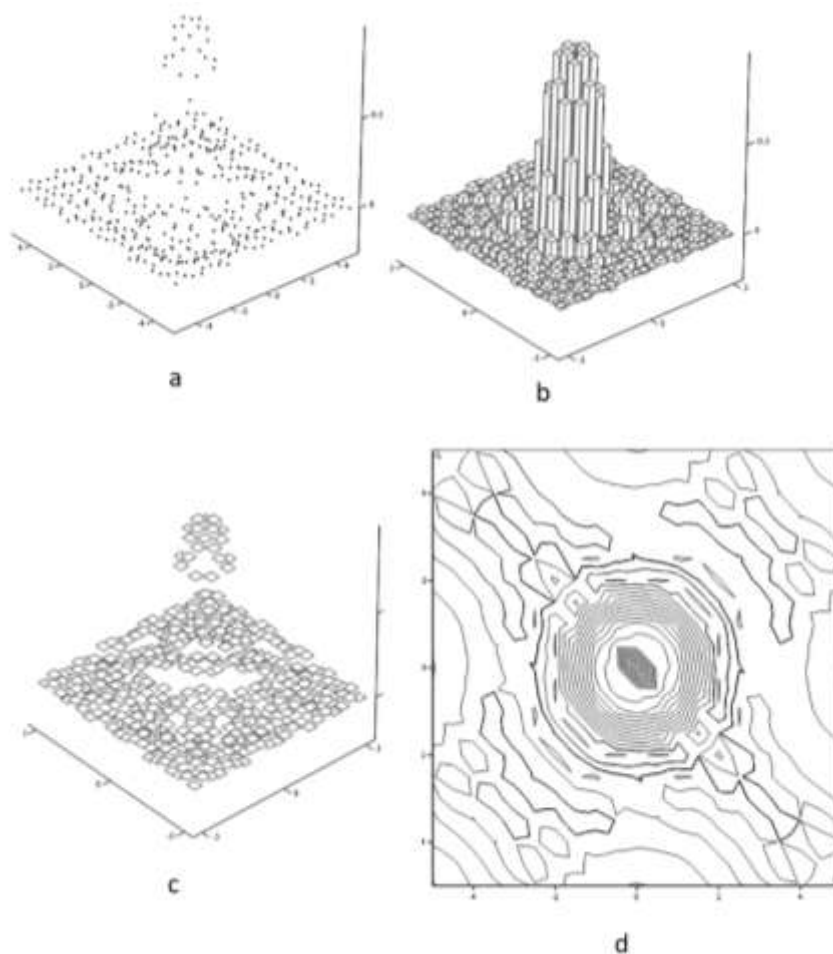


Рисунок 4.15 – Альтернативні типи візуалізації 3D-графіка

Ще один тип 3D-графіка – це Vector Field Plot (графік векторних полів), що передбачає візуалізацію векторів у певних точках графіка.

Поширеною областю застосування цього типу 3D-графіка є фізика. У такому випадку кожна точка графіка відповідає точці простору, а вектор у точці графіка подає вплив фізичного поля у відповідній точці простору.

Найбільш зручно задати набір векторів у виді матриці комплексних чисел (рис. 4.16). Номер рядка у матриці визначає координату X розміщення вектора на графіку, а номер стовпця – координату Y . Дійсна складова комплексного числа визначає X -координату вектора, уявна складова – Y -координату (у системі

координат самого вектора). Координати вектора визначають його напрям на графіку. Усі вектори на графіку масштабуються залежно від їх довжин.

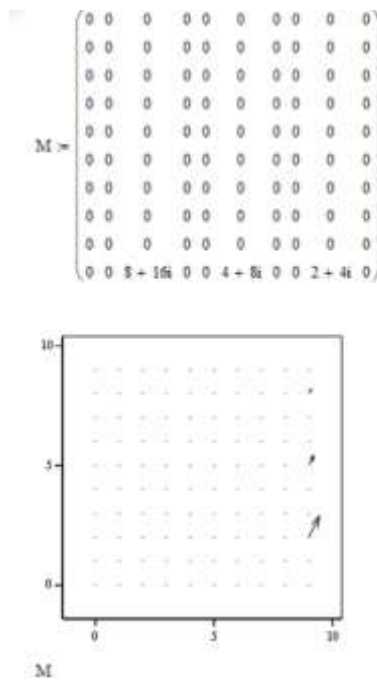


Рисунок 4.16 – Приклад візуалізації графіка векторних полів на основі матриці комплексних чисел

Альтернативно можна сформувати окремі матриці (рис. 4.17) для координат векторів по осі X та Y. Тоді назви обох матриць необхідно ввести у полі 3D-графіка через кому у круглих дужках.

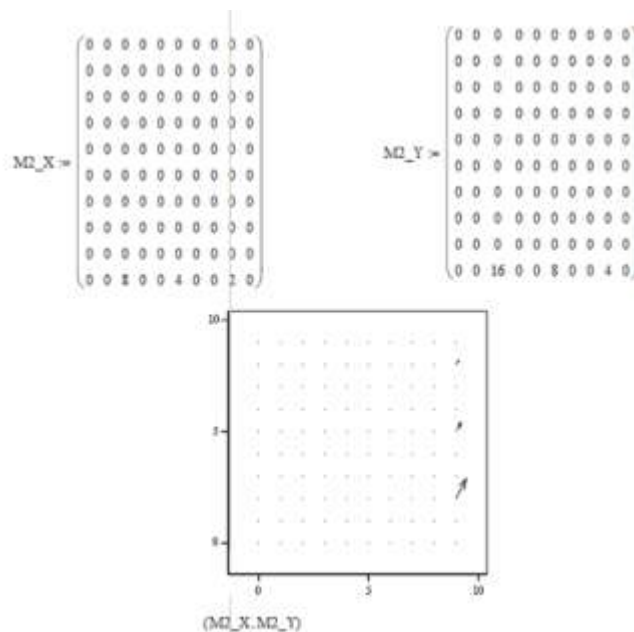


Рисунок 4.17 – Візуалізація графіка векторних полів на основі матриць координат векторів

Шаблони стовпчикового й точкового графіка, графіків ізоліній і векторних полів альтернативно можна додати у робочу область Mathcad (див. рис. 1.1–1.3) за допомогою комбінацій клавіш (лише для графіка ізоліній – Ctrl+5), використавши панель інструментів Graph або послідовно вибравши пункти меню Mathcad Insert->Graph.

4.3 Налаштування ділянки візуалізації й системи координат 3D-графіка

Вкладка Quick Plot Data (рис. 4.18) вікна 3D-Plot Format призначена для здійснення основних налаштувань координатної системи та інтервалів візуалізації 3D-графіка.

Задання інтервалів значень аргументів, а також кількостей поділок 3D-сітки здійснюється у групах полів Range 1, Range 2. Мінімальне значення аргументу задається параметром start, максимальне значення задається параметром end. Важливо зазначити, що заданий інтервал відповідає діапазону значень аргументу функції, відносно якого обчислюються й будується графік, а не діапазону чисел, що відображається на осі.

Кількість точок розрахунку та візуалізації функції визначається параметром # of Grids.

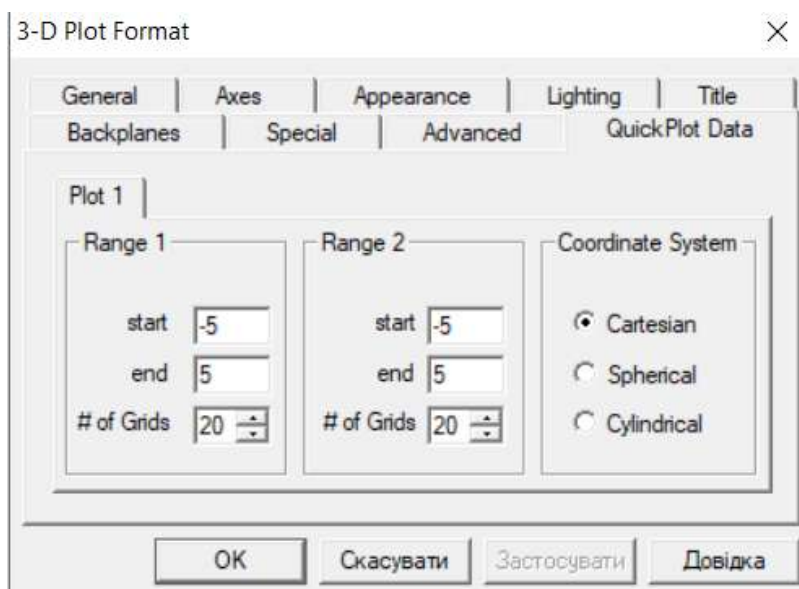


Рисунок 4.18 – Інтерфейс вкладки Quick Plot Data вікна 3-D Plot Format

У групі полів Coordinate System визначається тип координатної системи 3D-графіка. За замовчуванням використовується декартова система координат (радіокнопка Cartesian).

Сферична система координат (радіокнопка Spherical) є розширенням полярної системи координат у тривимірному просторі. Довжина вектора \vec{r} від точки до центра координат визначається на основі зенітного кута θ (кут між \vec{r} і вертикальною віссю Z) і азимутального кута φ (кут між горизонтальною віссю X і проекцією \vec{r} на площину XY). Приклади 3D-графіків у сферичній системі координат наведено на рис. 4.19. Інтервали координат θ (0;3.14) і φ (0;6.28) відповідно задано групами параметрів Range 1, Range 2 у Quick Plot Data.

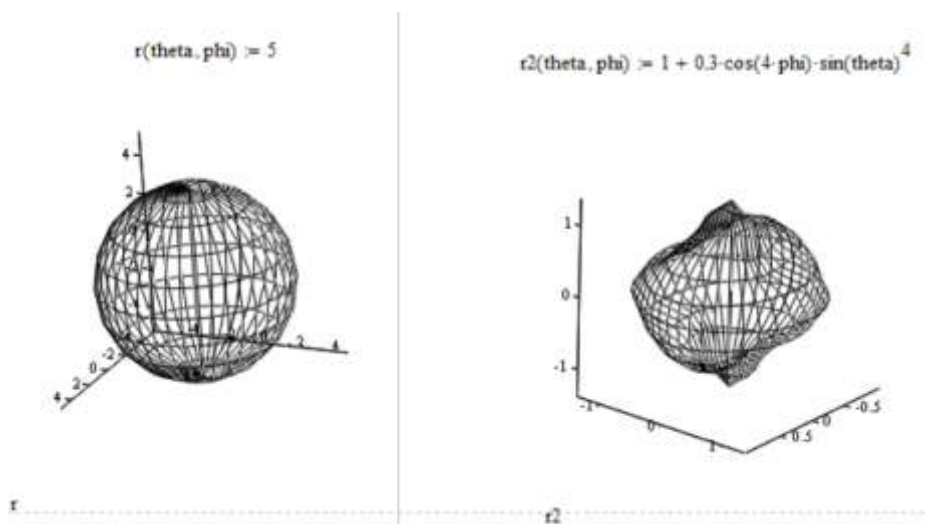


Рисунок 4.19 – Приклади 3D-графіків у сферичній системі координат

Іншим розширенням полярної системи координат у тривимірному просторі є циліндрична система координат (радіокнопка Cylindrical). Використовуються координати r (довжина проєкції вектора \vec{r} між точкою та початком координат на площину XY), z (висота точки відносно площини XY), φ (азимутальний кут між горизонтальною віссю X і проекцією вектора \vec{r} на площину XY). Приклади побудованих 3D-графіків у циліндричній системі координат зображено на рис. 4.20. Інтервали координат φ (0;6.28) і z відповідно задаються групами параметрів Range 1, Range 2.

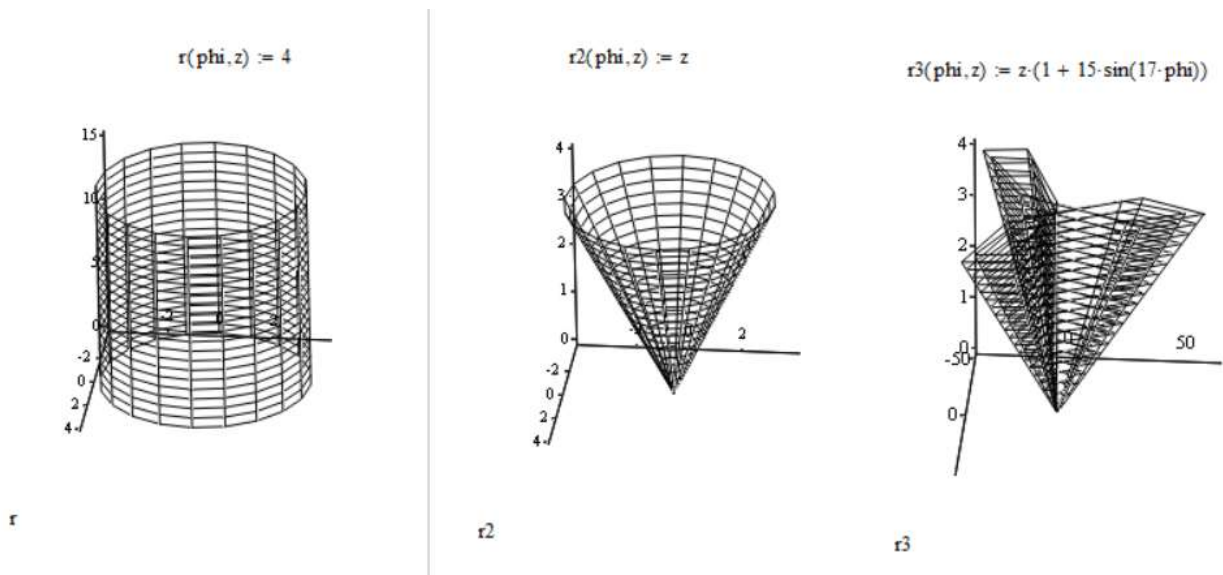


Рисунок 4.20 – Приклади 3D-графіків у циліндричній системі координат

4.4 Налаштування формату осей 3D-графіка

Вкладка Axes (рис. 4.21) вікна 3D-Plot Format призначена для налаштування формату осей графіка.

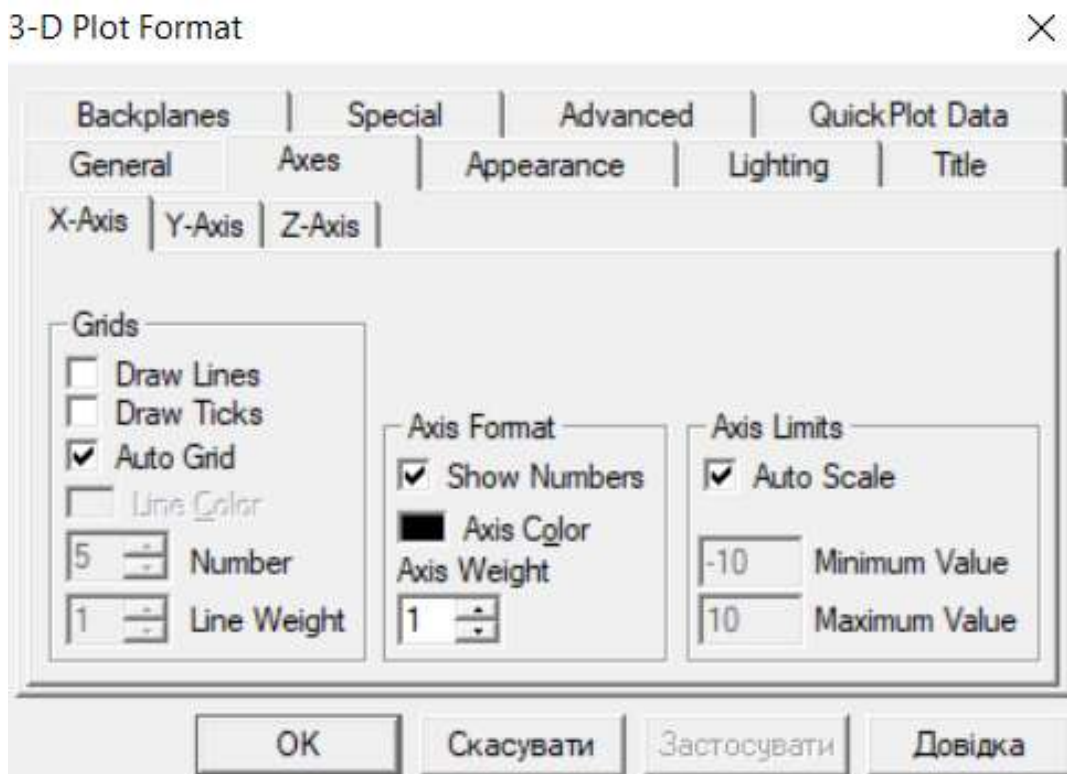


Рисунок 4.21 – Інтерфейс вкладки Axes вікна 3D-Plot Format

Вкладка Axes містить три вкладки – X-Axis, Y-Axis, Z-Axis, відповідні трьом осям графіка. Ці вкладки характеризуються однаковим набором параметрів.

Групи полів вкладки Axes містять Grids, Axis Format, Axis Limits.

Група полів Grids призначена для налаштування сітки, що поділяє 3D-графік (рис. 4.22). Параметр Draw Lines використовується для візуалізації ліній сітки, проведених відносно відповідної осі. Параметр Line Color визначає колір лінії сітки, а Line Weight – товщину лінії сітки. Поставлена позначка біля Auto Grid означає, що число ділянок, утворених лініями, відносно осі визначається автоматично. Інакше, число ділянок між лініями визначається значенням поля Number. Параметр Ticks призначений для нанесення штрихів на рівні поділок осей сітки.

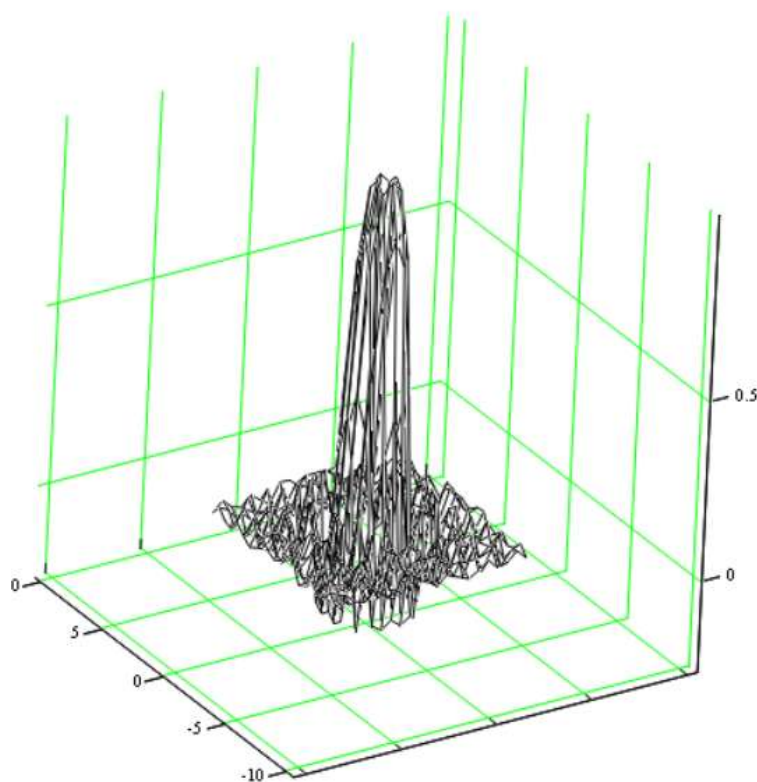


Рисунок 4.22 – Приклад 3D-графіка, поділеного лініями сітки

Група полів Axis Format призначена для налаштування виду осей 3D-графіка. Поле Show Number забезпечує виведення чисел біля поділок осей. Параметр Axis Color призначений для вибору кольору лінії осі. Параметр Axis Weight використовується для встановлення товщини лінії осі.

Група полів Axis Limits призначена для встановлення граничних значень (Minimum Value і Maximum Value), що відображаються на поділках шкал. Якщо поставити позначку біля Auto Scale, значення Minimum Value і Maximum Value встановлюються автоматично.

Важливо, щоб значення полів Minimum Value і Maximum Value узгоджувались зі значеннями полів Start, End вкладки Quick Plot Data. Перша група полів визначає граничні координати на шкалах, а друга група визначає граничні координати обчислення та побудови графіка функції.

4.5 Налаштування формату площин 3D-графіка

Вкладка Backplanes (рис. 4.23) вікна 3-D Plot Format призначена для налаштування формату площин XY, XZ, YZ тривимірного графіка. Backplanes містить три вкладки, відповідні зазначеним площинам.

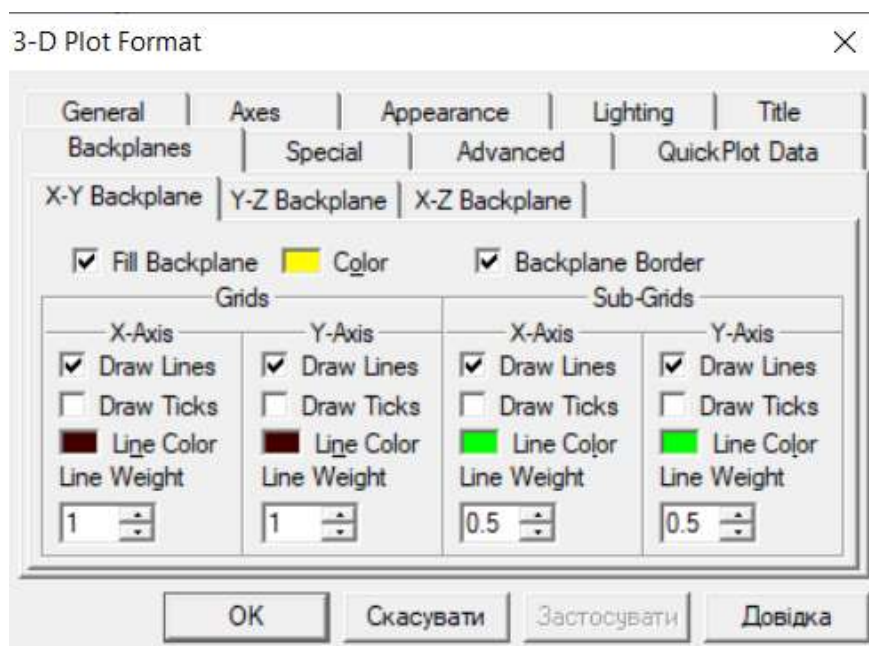


Рисунок 4.23 – Інтерфейс вкладки Backplanes

Для можливості задання кольору площини графіка необхідно поставити позначку біля Fill Backplane. Для задання кольору площини використовується параметр Color, для візуалізації кольору границі площини – Backplane Border.

Окрім того, вкладка Backplanes містить дві групи параметрів для побудови сітки ліній на поверхні визначеної площини.

Перша з груп параметрів, Grids, відповідає за побудову сітки ліній на самій площині. Sub-Grids забезпечує подальшу побудову сітки в межах утворених ділянок площини. У цьому випадку кожна з груп параметрів поділена на дві частини для налаштування сітки ліній відносно двох осей площини.

Вкладка Axes (див. рис. 4.21) також дозволяє задати налаштування сітки ліній графіка. Різниця полягає у тому, що у вкладці Backplanes налаштування побудови ліній задаються для окремої площини, а у вкладці Axes налаштування задаються для двох площин, суміжних відповідній осі.

Для відображення сітки ліній на площині необхідно поставити позначку біля Draw Lines. Далі, за допомогою параметра Line Color можна встановити колір ліній сітки. Товщина ліній задається параметром Line Weight. Число ділянок між лініями, відповідними осі, визначається параметром Number (за умови вимкнення параметра Auto Grid) групи параметрів Grids вкладки Axes (див. рис. 4.21) або автоматично (якщо Auto Grid увімкнено). Параметр Draw Ticks забезпечує відображення штрихів у місцях поділок осі.

На рис. 4.24 наведено 3D-графік з виглядом площин, що відповідає налаштуванням на рис. 4.23.

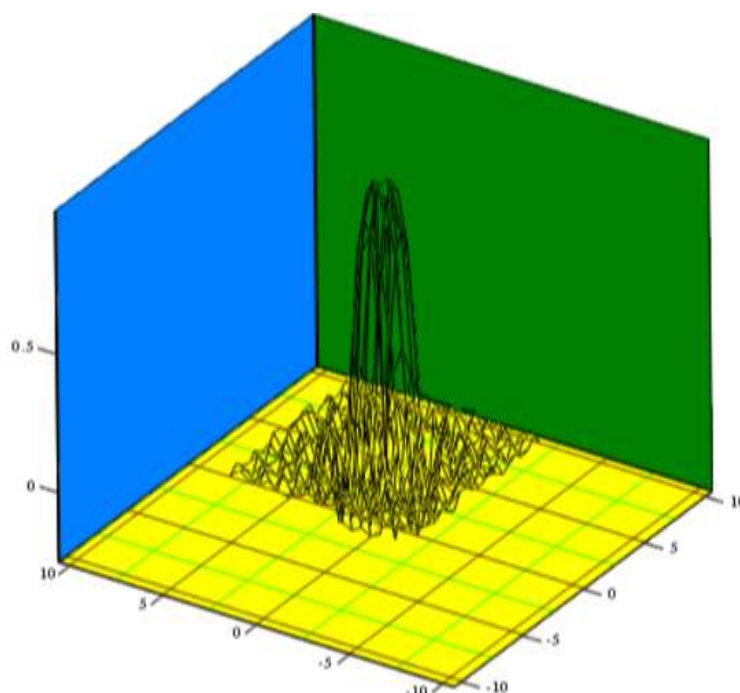


Рисунок 4.24 – Побудований 3D-графік з налаштованим форматом площин

4.6 Налаштування типу зафарбовування, ліній, точок 3D-графіка

Вкладка Appearance (рис. 4.25) вікна 3D-Plot Format призначена для налаштування вигляду 3D-графіка.

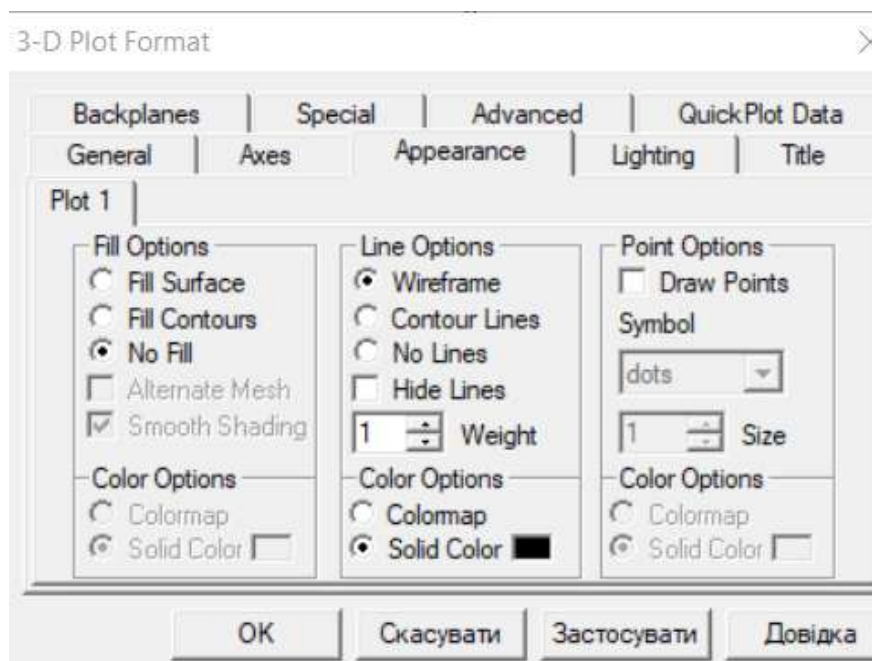


Рисунок 4.25 – Інтерфейс вкладки Appearance вікна 3D-plot Format

Вкладка Appearance містить три групи параметрів Fill Options, Line Options, Point Options.

Група Fill Options забезпечує налаштування параметрів заливки поверхні 3D-графіка. За замовчуванням, активованою є радіокнопка No Fill, що означає відсутність заливки поверхні тривимірного графіка. Параметр Fill Surface призначений для заливки поверхні певним кольором. Якщо поставити позначку біля параметра Alternate Mesh, залитою кольором буде лише половина полігонів поверхні графіка. Параметр Smooth Shading забезпечує гладкий перехід між зафарбованими полігонами поверхні шляхом змішування їх кольорів. Параметр Fill Contours призначений для заливки поверхні графіка мапою кольорів у напрямку ізоліній вертикальної осі Z (за замовчуванням). Такий тип заливки найбільш доцільно застосовувати для графіка ізоліній (Contour Plot).

Підгрупа полів Color Options забезпечує заливку поверхні (тип Fill Surface) або мапою кольорів (параметр Colormap), або єдиним кольором (параметр Solid Color, праворуч якого необхідно вибрати потрібний колір).

На рис. 4.26 наведено приклади побудованих 3D-графіків з налаштованим форматом заливки: на рис. 4.26, а) зображено поверхневий 3D-графік (тип Surface Plot вкладки General) із залитою синім кольором поверхнею (тип заливки Fill Surface) та увімкненим параметром Alternate Mesh, на рис. 4.26, б) зображено поверхневий 3D-графік (Surface Plot вкладки General) із залитою поверхнею (тип заливки Fill Contours), на рис. 4.26, с) зображено графік ізоліній (Contour Plot вкладки General) із залитою поверхнею (тип заливки Fill Contours).

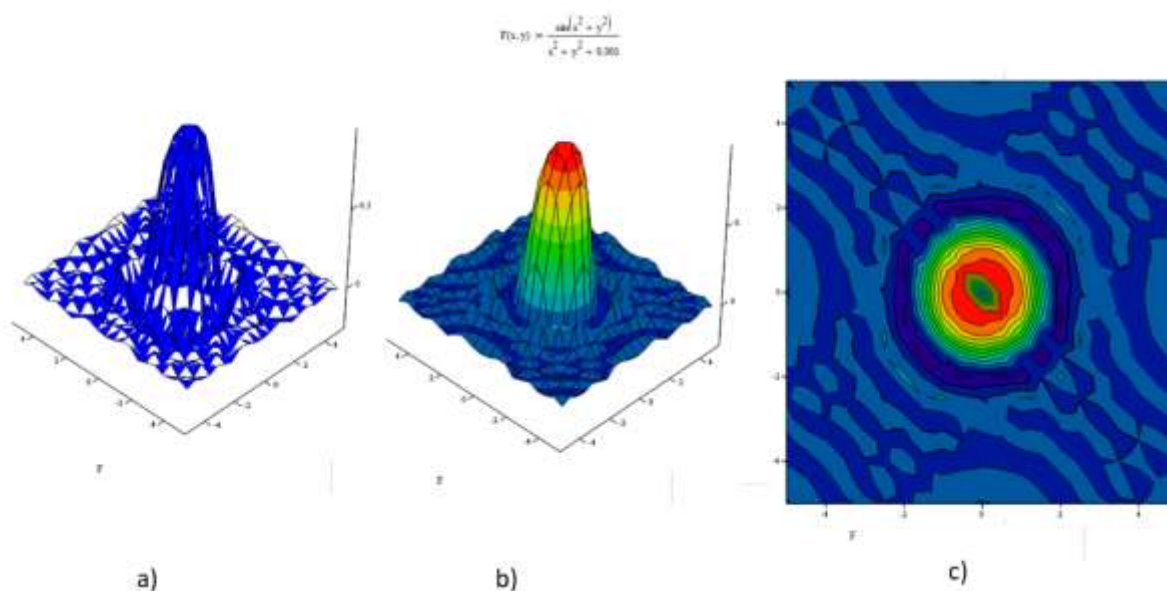


Рисунок 4.26 – Приклади побудованих 3D-графіків з налаштованим форматом заливки поверхні

Група параметрів Line Options вкладки Appearance призначена для налаштування вигляду ліній 3D-графіка. За замовчуванням використовується каркасний тип лінії (Wireframe, рис. 4.27, а). Альтернативно, можливою є побудова ізоліній (Contour Lines, рис. 4.27, б) у напрямку певної осі. У разі активації параметра No Lines лінії не візуалізуються. Параметр Hide Lines

призначений для видалення невидимих ліній на графіку (рис. 4.28). Параметр Weight призначений для встановлення товщини лінії графіка.

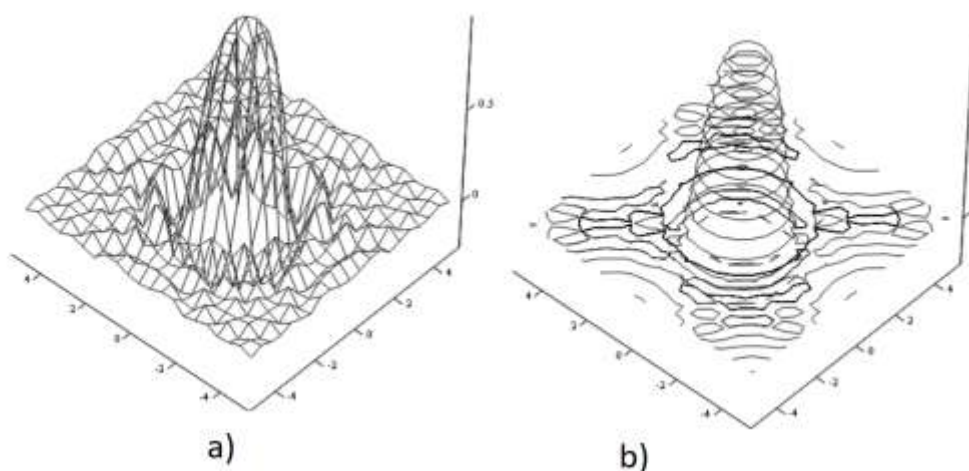


Рисунок 4.27 – Побудова 3D-графіка на основі каркасних ліній та ізоліній

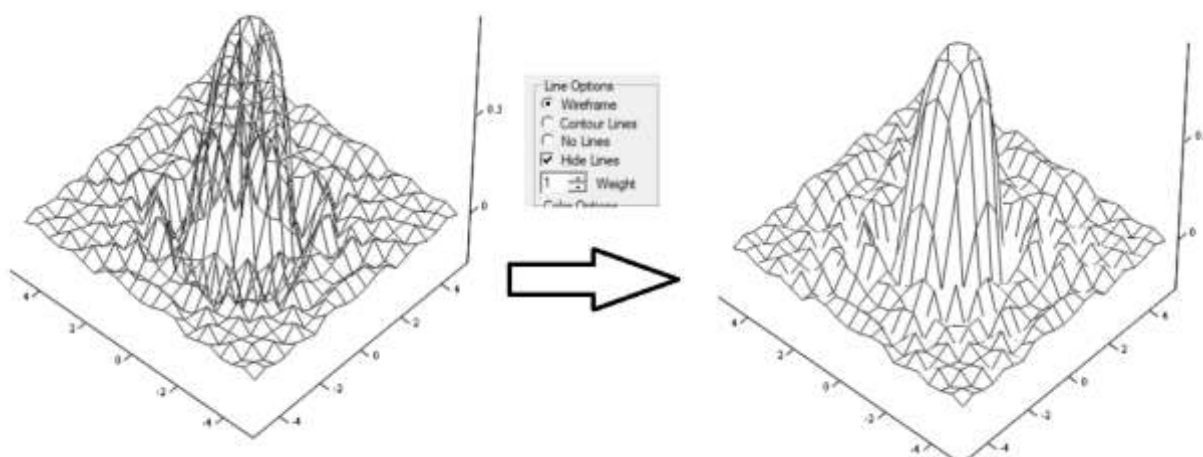


Рисунок 4.28 –Вилючення невидимих ліній 3D-графіка

Аналогічно до Fill Options, можна задати єдиний колір ліній графіка (параметр Solid Color) або застосувати до ліній мапу кольорів у напрямку певної осі (параметр ColorMap).

Група параметрів Point Options вкладки Appearance призначена для налаштування формату точок графіка. Для візуалізації точок необхідно поставити позначку біля Draw Points. У випадковому списку біля параметра Symbol можна вибрати тип символу точки – Dots (звичайні точки), X's (хрестики), +'s (плюси), Boxes («коробки»), Diamonds («ромби»). Поле Size

задає розмір точки. Колір точки задається полем Solid Color (єдиний колір) або Colormap (картою кольорів).

На рис. 4.29 наведено приклади 3D-графіків з налаштованим виглядом точок: на рис. 4.29, а) зображено поверхневий 3-D графік (тип Surface Plot у вкладці General) з типом точок Dots і способом зафарбовування точок Colormap, на рис. 4.29 (b) зображено точковий 3D-графік (тип Data Points вкладки General) з типом точок Diamonds й типом зафарбовування Solid Color.

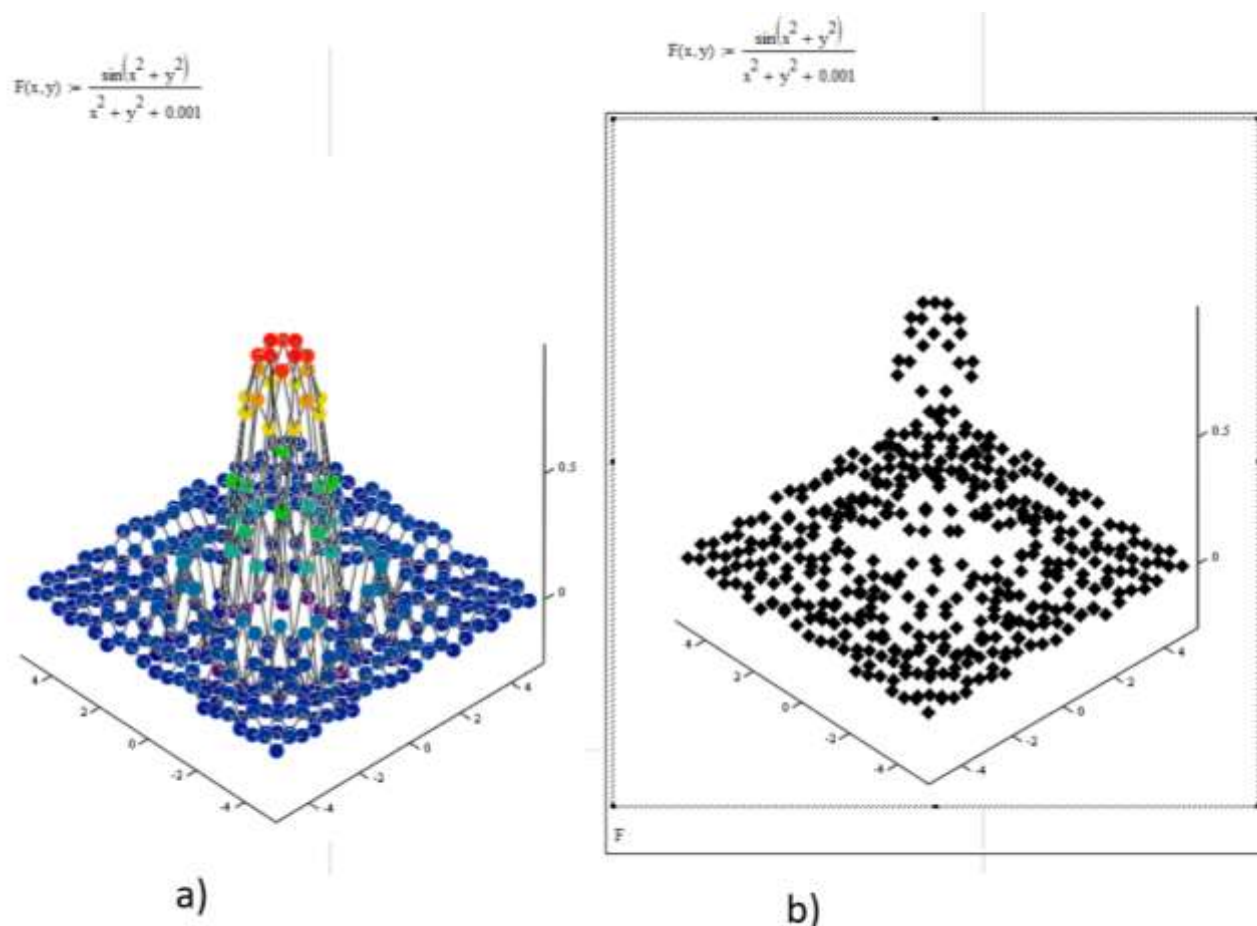


Рисунок 4.29 – Приклади 3D-графіків з налаштованим виглядом точок

4.7 Спеціальні налаштування формату 3D-графіка

Вкладка Special вікна 3D-Plot Format (рис. 4.30) призначена для здійснення спеціальних налаштувань 3D-графіка, таких як особливості

побудови ізоліній й поєднання точок графіка, вигляд стовпчикового графіка, особливості формування поверхневого графіка з точкового графіка.

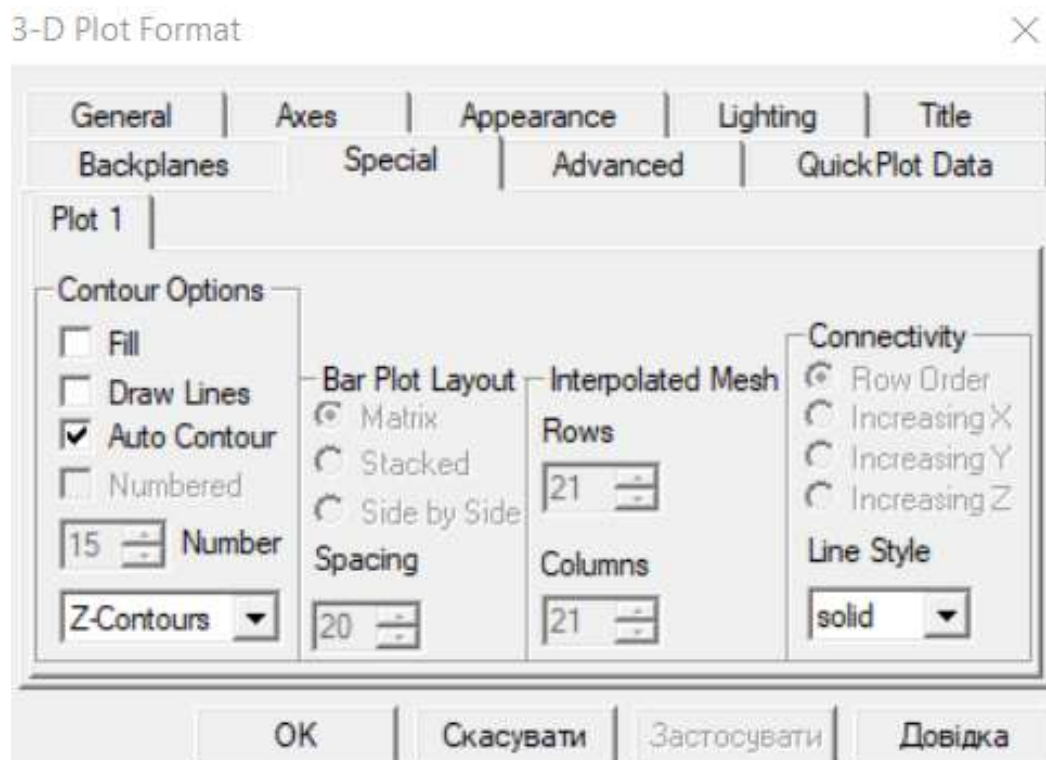


Рисунок 4.30 – Інтерфейс вкладки Special вікна 3-D Plot Format

Вкладка Special містить групи параметрів Contour Options, Bar Plot Layout, Interpolated Mesh, Connectivity.

Група параметрів Contour Options означає особливості побудови ізоліній на тривимірному графіку. Параметр Fill забезпечує зафарбовування 3D-поверхні колірною мапою у напрямку побудови ізоліній відносно певної осі (за замовчуванням, Z). Для візуалізації ізоліній використовується параметр Draw Lines. Кількість ізоліній у напрямку певної осі визначається автоматично, якщо параметр Auto Contour є активованим. Інакше використовується значення поля Number. Параметр Numbered забезпечує виведення чисел на ізолініях. Нижхідний список групи призначений для вибору осі, відносно якої здійснюються налаштування побудови ізоліній і зафарбовування поверхні. Відповідно можливо проводити ізолінії відносно кількох осей одночасно.

На рис. 4.31 наведено приклад 3D-графіка з побудованими десятьма ізолініями та зафарбованою поверхнею у напрямку осі Z. Графік сформовано на основі відповідних налаштувань групи Contour Options.

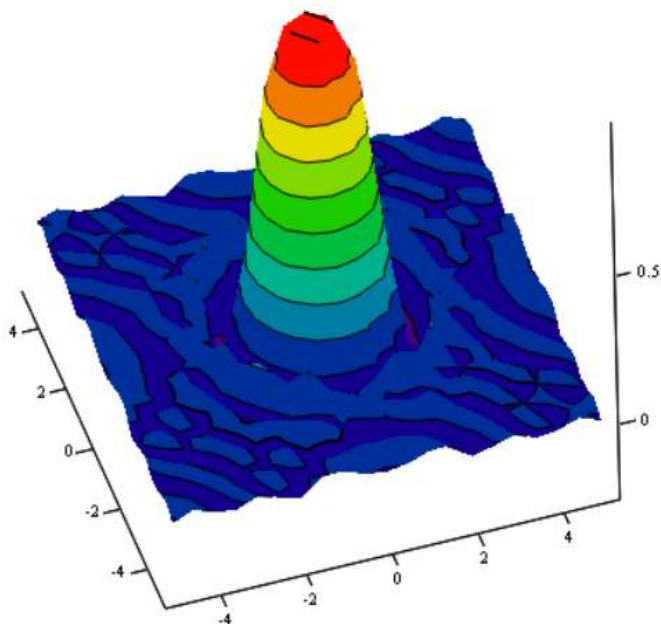


Рисунок 4.31 – Побудований графік на основі налаштувань побудови ізоліній у вкладці Special

Група параметрів Bar Plot Layout вкладки Special призначена для налаштування вигляду стовпчикового 3D-графіка (тип Bar Plot у вкладці General). Три радіокнопки відповідають 3-м доступним типам стовпчикового графіка.

Тип стовпчикового графіка Matrix означає, що стовпці графіка відповідають відповідним значенням матриці, на основі якої формується графік. Два наступні типи стовпчикових графіків формуються для дискретного набору значень функції у вигляді матриці. Тип Stacked полягає у тому, що стовпці, відповідні колонці матриці, вертикально накладаються один на одного. Тип Side By Side полягає у тому, що стовпці групуються по колонках матриці, після чого сформовані групи розміщуються в ряд. Параметр Spacing визначає відстані між стовпцями графіка.

На рис. 4.32, а зображено матрицю чисел, сформовану на основі виразу двох змінних. На рис. 4.32, b наведено стовпчиковий графік типу Matrix, сформований на основі цієї матриці. На рис. 4.32, c зображено стовпчиковий графік типу Stacked, на рис. 4.32, d – графік типу Side By Side. Усі графіки зафарбованою мапою кольорів шляхом активації параметра Fill Bars вкладки Appearance. Кольори стовпців на різних графіках не збігаються.

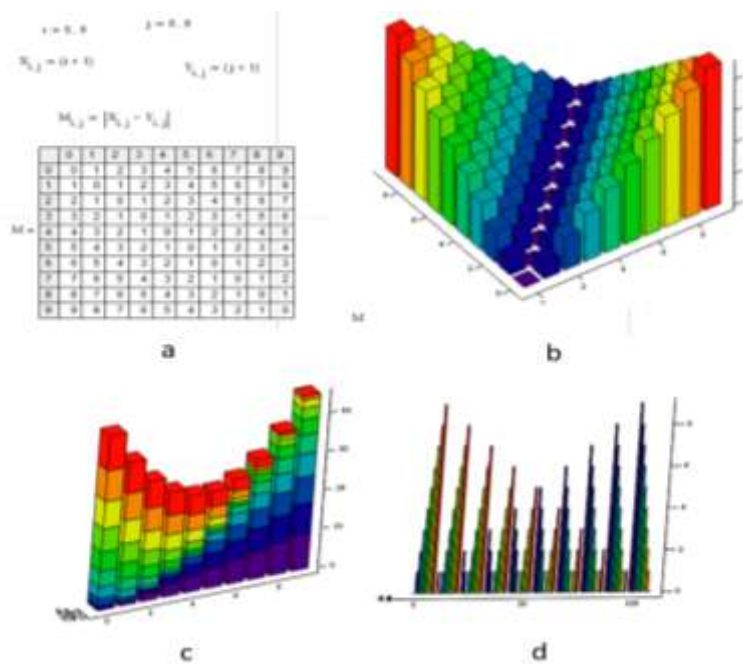


Рисунок 4.32 – Основні типи стовпчикових графіків у Mathcad

Група параметрів Interpolated Mesh призначена для задання густоти сітки по рядках (Rows) і колонках (Columns) у випадку переведення з точкового графіка в поверхневий 3D-графік.

Група параметрів Connectivity застосовується до точкового графіка (тип Data Points вкладки General) за умови, якщо точки з'єднані лініями (активованій параметр Lines вкладки Appearance). Можна вибрати один з чотирьох порядків з'єднання ліній: Row Order (у порядку розташування точок у матриці значень), Increasing X, Increasing Y, Increasing Z (у порядку зростання координат по відповідній осі). Низхідний список Line Style призначений для встановлення стилю ліній, що з'єднують точки. До можливих стилів лінії належать solid («суцільний»), dashed («пунктирний»), dotted («штриховий»), da-dot («штрих-пунктирний»).

На рис. 4.33, а зображено точковий 3D-графік з типом з'єднання точок Increasing X, на рис. 4.33, b – з типом з'єднання Increasing Y, на рис. 4.33, c – з Increasing Z, на рис. 4.33, d – з Row Order. З'єднувальні лінії на усіх графіках є штрих-пунктирними.

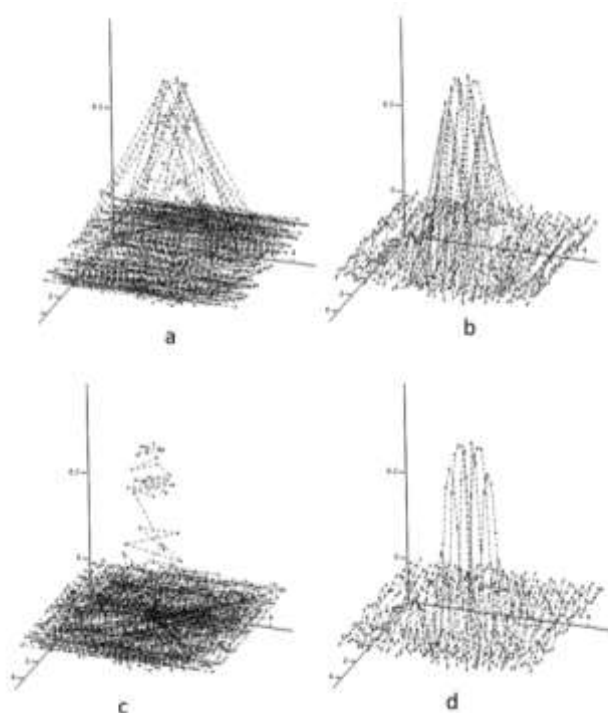


Рисунок 4.33– Точкові 3D-графіки з різними типами з'єднання ліній

Варто зазначити, що точковий графік зі з'єднувальними лініями є зручним для візуалізації кривих, зокрема параметрично заданих, у 3D-просторі (рис. 4.34).

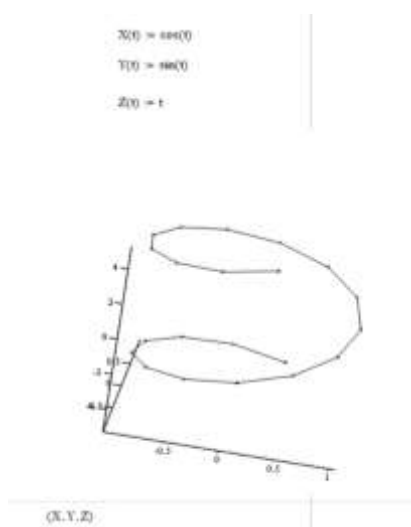


Рисунок 4.34 – Використання точкового графіка зі з'єднувальними лініями для побудови гвинтової лінії

4.8 Розширені налаштування формату 3D-графіка

Вкладка Advanced (рис. 4.35) вікна 3D-Plot Format призначена для здійснення додаткових налаштувань 3D-графіка, таких як задання оптичних ефектів, рівня блискучості й прозорості графіка, особливостей використання карти кольорів, рівня якості графіка.

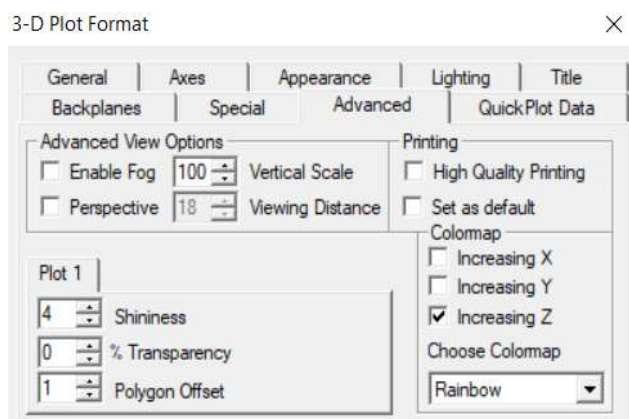


Рисунок 4.35 – Інтерфейс вкладки Advanced вікна 3-D Plot Format

Група полів Advanced View Options дозволяє додати ефекти туману й перспективи до графіка.

Для додання ефекту туману необхідно поставити позначку біля Enable Fog. Значення параметра Vertical Scale визначає відсоткове відношення (від 1 до 100) видимої довжини осі Z графіка до довжин осей X, Y. На рис. 4.36 наведено вигляд графіка з доданим ефектом туману й значенням Vertical Scale 100.

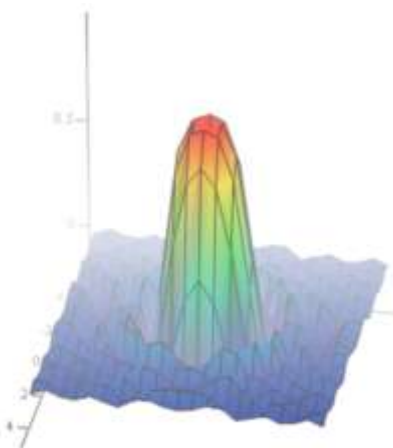


Рисунок 4.36 – Вигляд 3D-графіка з доданим ефектом туману

Для додання ефекту перспективи до 3D-графіка потрібно поставити позначку біля Perspective. У цьому випадку уявна відстань користувача до монітора задається у дюймах параметром Viewing Distance. Використовується діапазон значень [1,99], чим більша відстань – тим більший графік.

На рис. 4.37, а наведено приклад 3D-графіка за значення Viewing Distance 1, на рис. 4.37, b – за значення Viewing Distance 99.

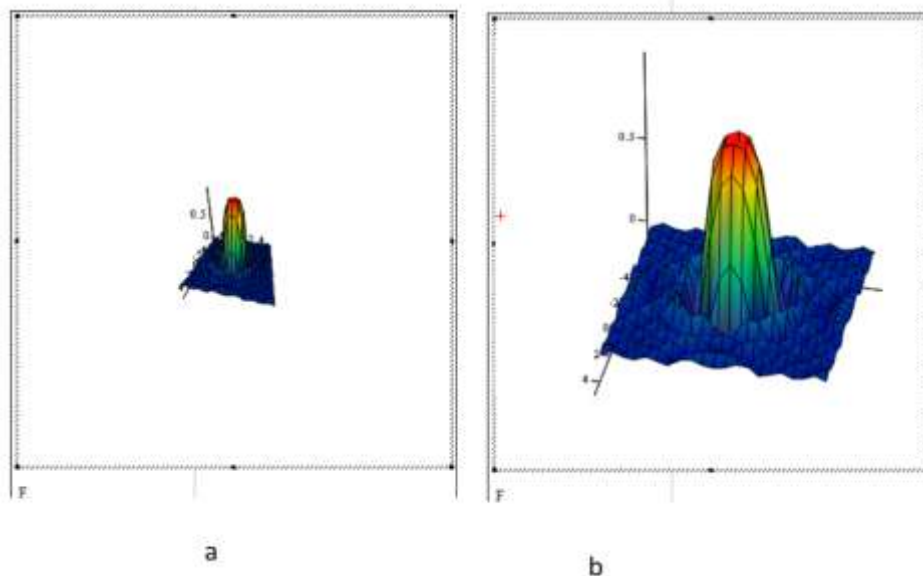


Рисунок 4.37 – Приклади 3D-графіків з доданим ефектом перспективи за різних значень відстані до користувача

Параметри Enable Fog і Perspective можна активувати з контекстного меню 3D-графіка.

Група параметрів Plot N (N – номер 3D-графіка) вкладки Advanced призначена для налаштування блискучості й прозорості 3D-графіка.

Для встановлення відсотка прозорості графіка застосовується параметр Transparency. Параметр Shininess використовується для задання рівня блискучості поверхні графіка діапазоном [0,128], якщо активовано пункт Enable Lighting вкладки Lighting (див. далі у розділі). Чим більше значення параметра, тим більш сконцентрований відблиск на поверхні графіка. Окрім того, група параметрів містить параметр Polygon Offset, що визначає зміщення полігонів поверхні від ліній навколо них. Використовується діапазон значень [0,10], за

значення параметра 0 може виникнути ефект перемішувань зафарбованих полігонів і ліній між ними.

На рис. 4.38, а зображено приклад 3D-графіка за значення Transparency 50%, на рис. 4.38, b – 3D-графік за значення Shininess 1, на рис. 4.38, c – 3D-графік за значення Shininess 128, на рис. 4.38, d – 3D-графік за значення Polygon Offset 0.

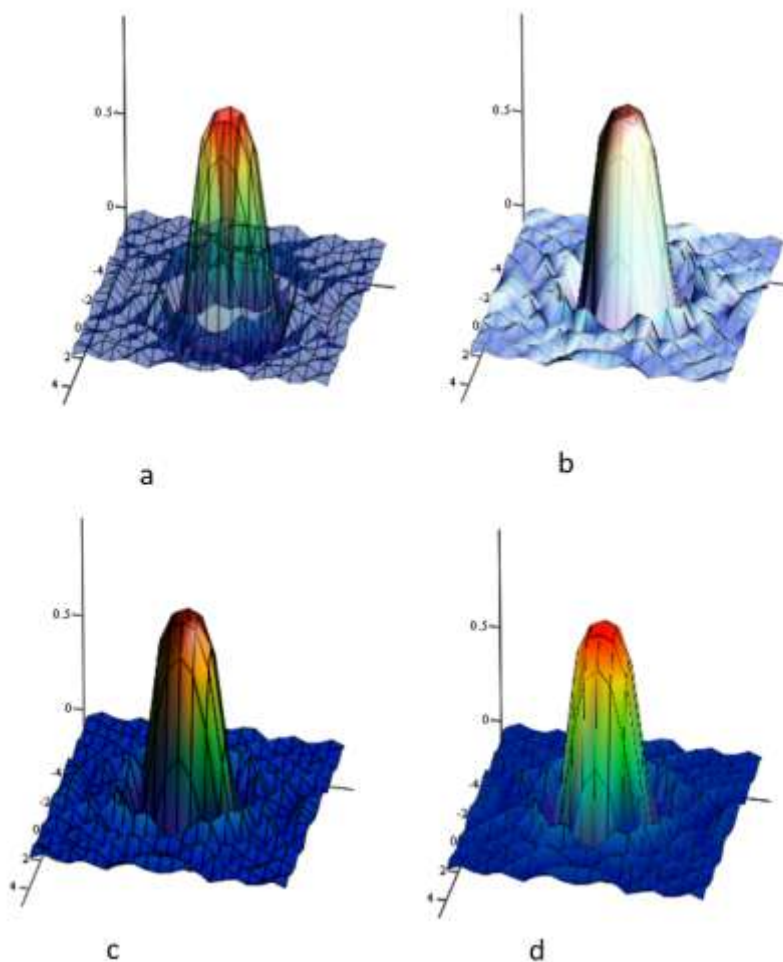


Рисунок 4.38 – Приклади 3D-графіків, відповідних параметрам Transparency 60 (a), Shininess 1 (b), Shininess 128 (c), Polygon Offset 0 (d)

Група параметрів Printing вкладки Advanced призначена для налаштування якості друку 3D-графіка. Якщо поставити позначку біля High Quality Printing, графік буде друкуватись з роздільною здатністю принтера користувача. Інакше використовуватиметься роздільна здатність 150 dpi.

Параметр Set as default дозволяє зберегти поточні налаштування друку для майбутніх 3D-графіків.

Група параметрів Colormap призначення для задання особливостей застосування мапи кольорів. Параметри Increasing X, Increasing Y, Increasing Z використовуються для вибору відповідної осі, у напрямку якої формуватиметься карта кольорів. Одночасно можна поставити позначку біля кількох параметрів. Низхідний список біля Choose Colormap забезпечує вибір типу мапи кольорів для зафарбовування поверхні 3D-графіка: Rainbow («веселка», рис. 4.39, a), Greyscale («відтінки сірого», рис. 4.39, b), Blues («відтінки блакитного», рис. 4.39, c), Fire («вогонь», рис. 4.39, d), Gamma («гамма-кориговані відтінки сірого», рис. 4.39, e), Greens («відтінки зеленого», рис. 4.39, f), Neon («неонові відтінки», рис. 4.39, g), Reds («відтінки червоного», рис. 4.39, h), Royal («королівські відтінки синього», рис. 4.39, i), topograf («топографічні кольори», рис. 4.39, j).

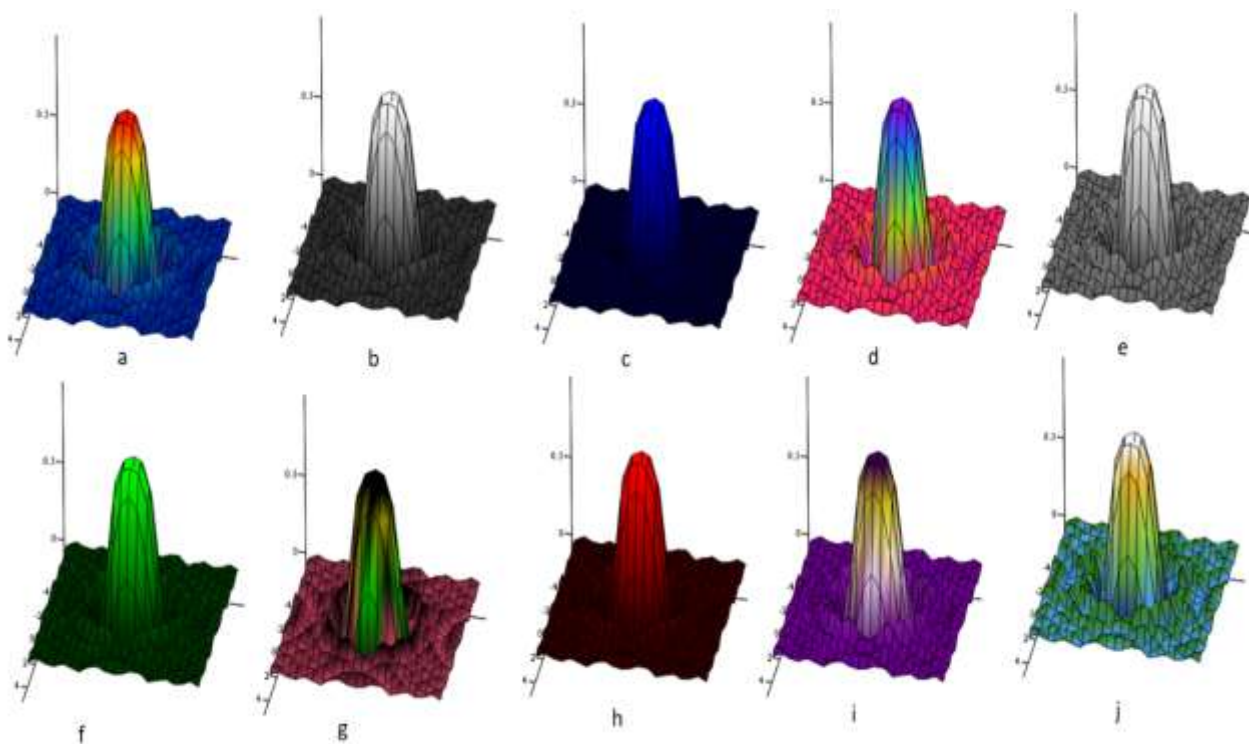


Рисунок 4.39 – Типи карт кольорів у Mathcad

4.9 Налаштування ефекту освітлення 3D-графіка

Вкладка Lighting (рис. 4.40) вікна 3-D Plot Format дозволяє налаштувати особливості освітлення графіка. Фактично, у такому випадку 3D-графік стає тривимірною сцену для рендерингу.

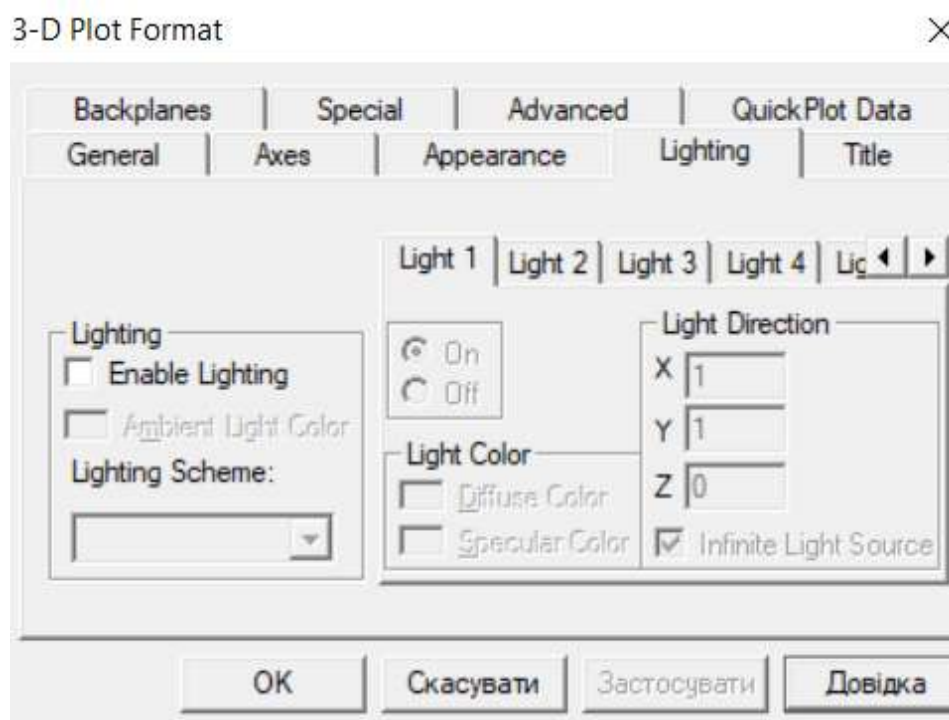


Рисунок 4.40 – Інтерфейс вкладки Lighting вікна 3-D Plot Format

Група параметрів Lighting однойменної вкладки призначена для задання загальних параметрів освітлення 3D-графіка. Для візуалізації ефекту освітлення необхідно активувати параметр Enable Lighting (або вибрати пункт Lighting у контекстному меню 3D-графіка). Параметр Ambient Light Color призначений для задання кольору фонового освітлення – відбитого світла від навколишнього середовища. У низхідному списку Lighting Scheme можна вибрати одну з вбудованих схем освітлення.

Права частина вкладки Lighting присвячена налаштуванню направлено освітлення. Наявна можливість задати до 8 направлених джерел освітлення,

яким відповідають відповідні вкладки. Для активації джерела світла необхідно вибрати радіокнопку On, для вимкнення джерела світла – радіокнопку Off.

Група параметрів Light Color забезпечує визначення кольорів відбитого світла. Параметр Diffuse Color відповідає кольору рівномірно розсіяного поверхнею графіка випромінювання. Параметр Specular Color відповідає кольору спекулярного відблиску на поверхні графіка.

Поля Light Direction призначені для задання X, Y, Z-компонент вектора, що вказує на джерело світла. Координати вектора до джерела світла, а також Diffuse Color і Specular Color автоматично задаються, якщо вибрати одну зі схем освітлення у списку Lighting Scheme. Якщо активувати параметр Infinite Light Source, вважатиметься, що джерело світла знаходиться нескінченно віддалено від поверхні графіка.

На рис. 4.41 наведено приклад 3D-графіка, що відповідає таким налаштуванням освітлення: синій колір дифузної складової, білий колір спекулярної складової, чорний колір (відсутність) фонові складової, одне нескінченно віддалене джерело світла.

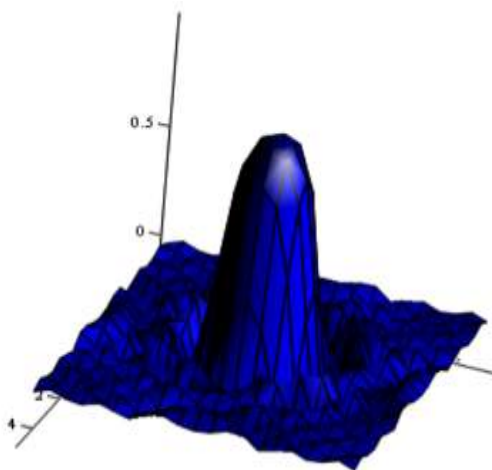


Рисунок 4.41 – Приклад 3D-графіка з налаштованим ефектом освітлення

4.10 Налаштування підписів на 3D-графіку

Вкладка Title (рис. 4.42) вікна 3-D Plot Format призначена для задання назви 3D-графіка (поле Graph Title) та положення назви відносно графіка (Above – вище графіка, Below – нижче графіка, Hide – приховати назву).

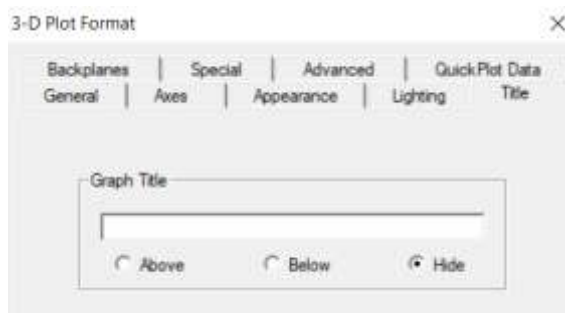


Рисунок 4.42 – Інтерфейс вкладки Title вікна 3-D Plot Format

Якщо будується одночасно декілька 3D-графіків, для них у вкладках General, Appearance, Special, Quick Plot Data наявні окремі внутрішні вкладки з назвою Plot N (N – номер графіка).

4.11 Застосування 3D Plot Wizard для побудови 3D-графіків

На відміну від інших типів графіків у Mathcad, для створення та налаштування формату 3D-графіків наявний спеціальний конструктор 3D Plot Wizard. Для запуску конструктора 3D Plot Wizard (рис. 4.43) необхідно послідовно вибрати пункти меню Mathcad Insert->Graph->3D Plot Wizard.

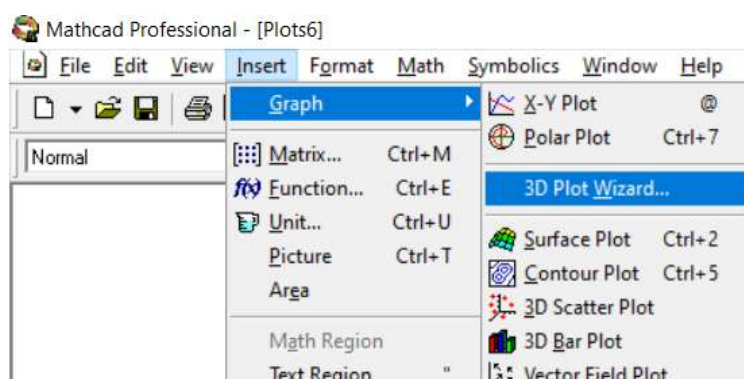


Рисунок 4.43 – Кроки для запуску конструктора 3D-графіків 3D Plot Wizard

У вікні Plot Type необхідно вибрати тип графіка (рис. 4.44): поверхневий графік (Surface Plot), графік ізоліній (Contour Plot), графік векторних полів (Vector Field Plot), стовпчиковий графік (Bar Plot), діаграма розсіювання (Scatter Plot).

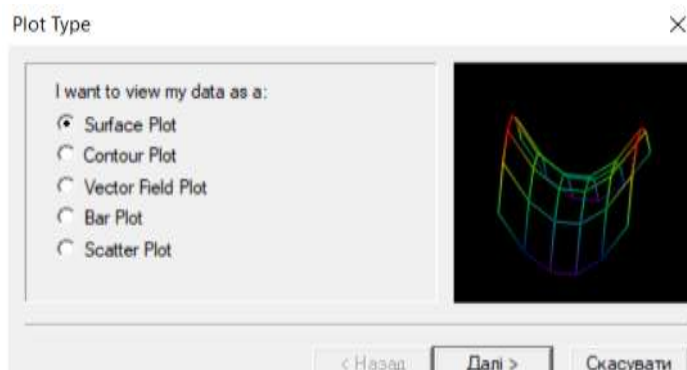


Рисунок 4.44 – Вибір типу графіка у 3D Plot Wizard

У наступних вікнах, залежно від вибраного типу графіка, здійснюється базове налаштування формату графіка.

Для поверхневого графіка визначається, чи лише візуалізуються лінії каркасу (Draw lines), чи лише поверхня заповнюється кольором (Fill surface with color), чи здійснюються обидві операції (Fill surface and draw lines) (рис. 4.45).

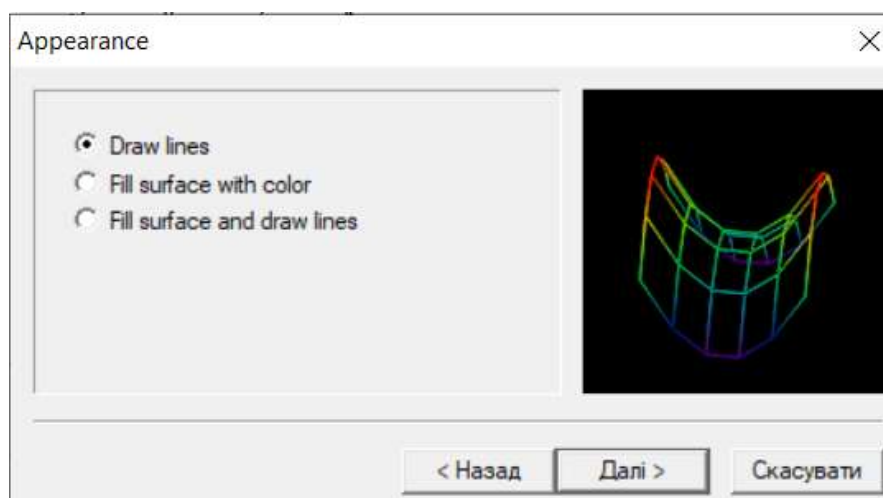


Рисунок 4.45 – Налаштування вигляду поверхневого графіка у 3D Plot Wizard

Після цього, необхідно задати тип зафарбовування поверхневого графіка (рис. 4.46) як зафарбовування суцільним кольором (Solid color, праворуч від радіокнопки необхідно вибрати потрібний колір), зафарбовування мапою кольорів (Color by height) або зафарбовування поверхні білим кольором з доданим ефектом освітлення (Color using lighting)



Рисунок 4.46 – Вибір типу зафарбовування поверхневого графіка у 3D Plot Wizard

На рис. 4.47 наведено приклади побудованих поверхневих графіків: графік із зафарбованими синім лініями каркасу (а), зафарбований мапою кольорів графік без видимих ліній (b), графік із зафарбованою білим поверхнею, чорними лініями каркасу та доданим ефектом освітлення (с).

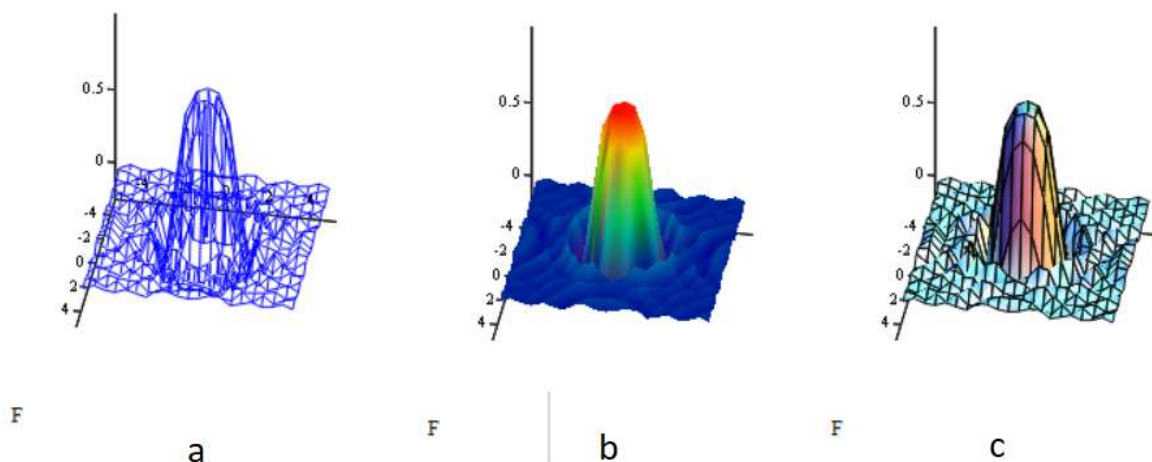


Рисунок 4.47 – Приклади побудованих поверхневих графіків у 3D Plot Wizard

Для графіка ізоліній можливими є такі базові налаштування (рис. 4.48): лише формування ізоліній (Draw contour lines), лише заповнення проміжків між ізолініями кольором (Fill contours with color, самі ізолінії не візуалізуються), формування ізоліній і заповнення проміжків між ними (Draw contour lines and

fill with color). Окрім того, наявний параметр візуалізації відповідних ізолініям чисел Numbered Contours.

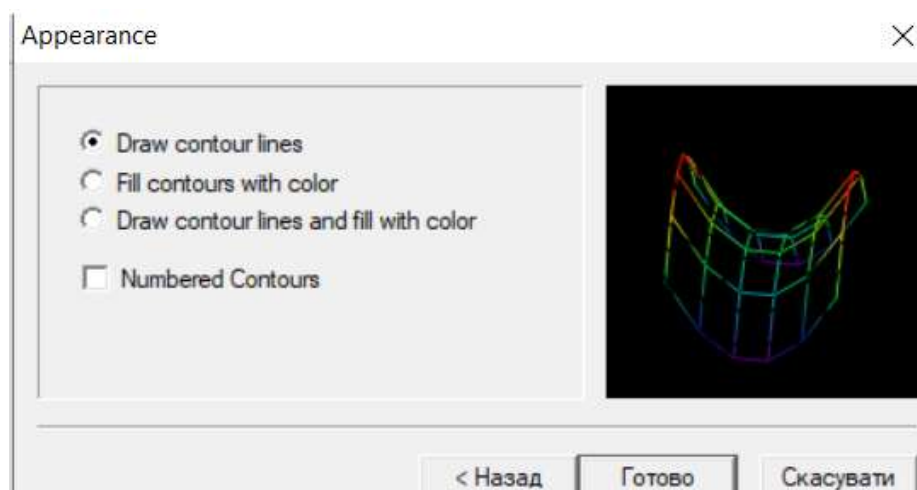


Рисунок 4.48 – Налаштування виду графіка ізоліній у 3D Plot Wizard

На рис. 4.49 наведено приклади побудованих графіків ізоліній за допомогою 3D Plot Wizard: графік з побудованими ізолініями (а), графік із зафарбованими ділянками між ізолініями (без видимих ізоліній) (б), графік із побудованими ізолініями, зафарбованими ділянками між ними, та позначками рівня значення функції (с).

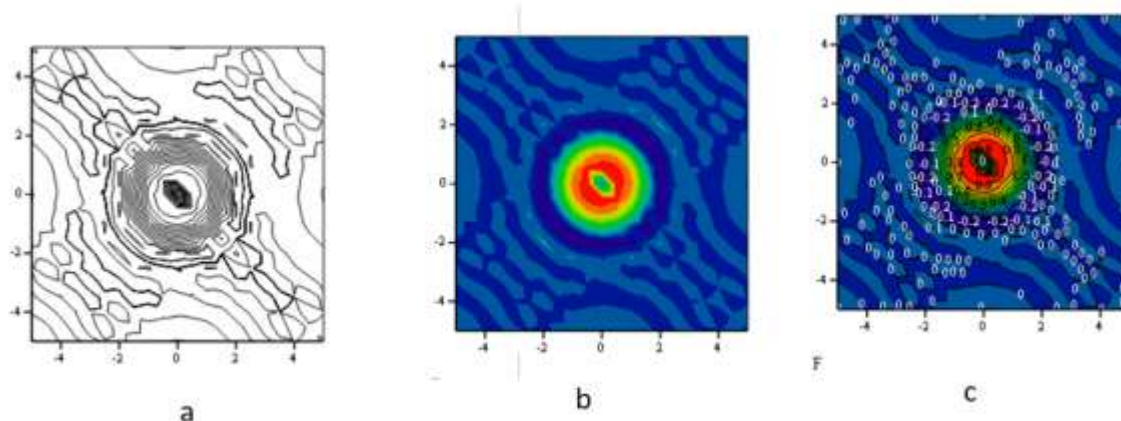


Рисунок 4.49 – Приклади побудованих графіків ізоліній у 3D Plot Wizard

Для графіка векторних полів можливими є такі типи (рис. 4.50) відображення векторів: Draw wire arrows (використовуються V-подібні стрілки, рис. 4.51, а, Draw filled arrows (використовуються стрілки із заповненням

кольором наконечником, рис. 4.51, b, Draw filled arrows with lines (додатково виділяється кольором лінія стрілки, рис. 4.51, c).

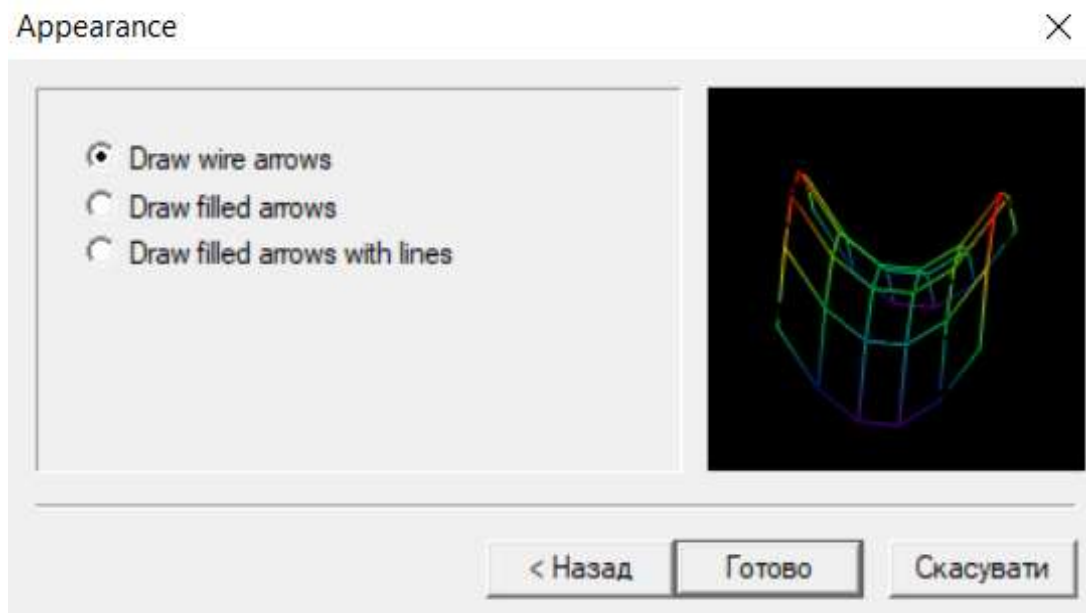


Рисунок 4.50 – Вибір типу візуалізації векторів у графіку векторних полів за допомогою 3D Plot Wizard

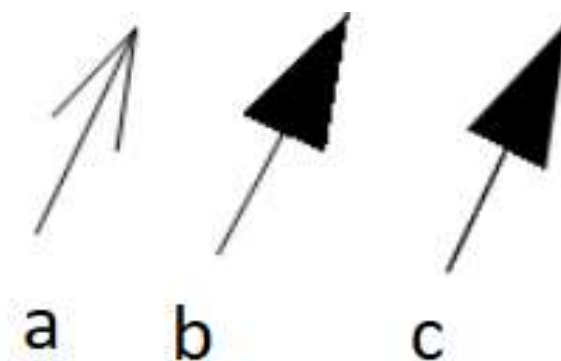


Рисунок 4.51 – Можливі типи стрілок графік векторних полів, що встановлюються за допомогою 3D Plot Wizard

Для стовпчикowego графіка можна встановити один із таких типів візуалізації (рис. 4.52): Matrix (відповідно до матриці значень функції), Stacked (стовпці, відповідні спільній колонці матриці накладаються один на одного), Side by Side (формується групи стовпців, відповідні спільним колонкам матриці) (див. рис. 4.32).

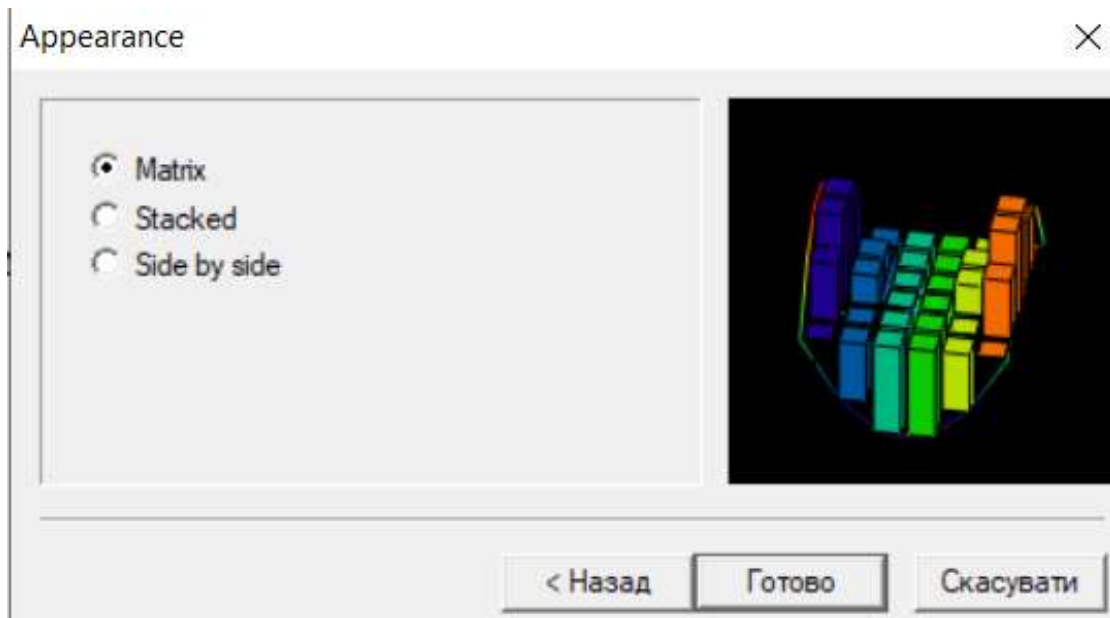


Рисунок 4.52 – Вибір типу візуалізації стовпчикового графіка у 3D Plot Wizard

Для діаграми розсіювання (точкового графіка) доступні такі типи візуалізації (рис. 4.53): Draw points (візуалізуються лише точки), Connected with lines (невидимі точки з'єднуються лініями), Draw points and connect with lines (візуалізуються і точки, і лінії).

У нижньому списку Symbol можна вибрати тип позначення точки (dots – «точки», знак «x», знак «+», boxes – «коробки», diamonds – «ромби»). У полі Size встановлюється розмір позначення точки даних.

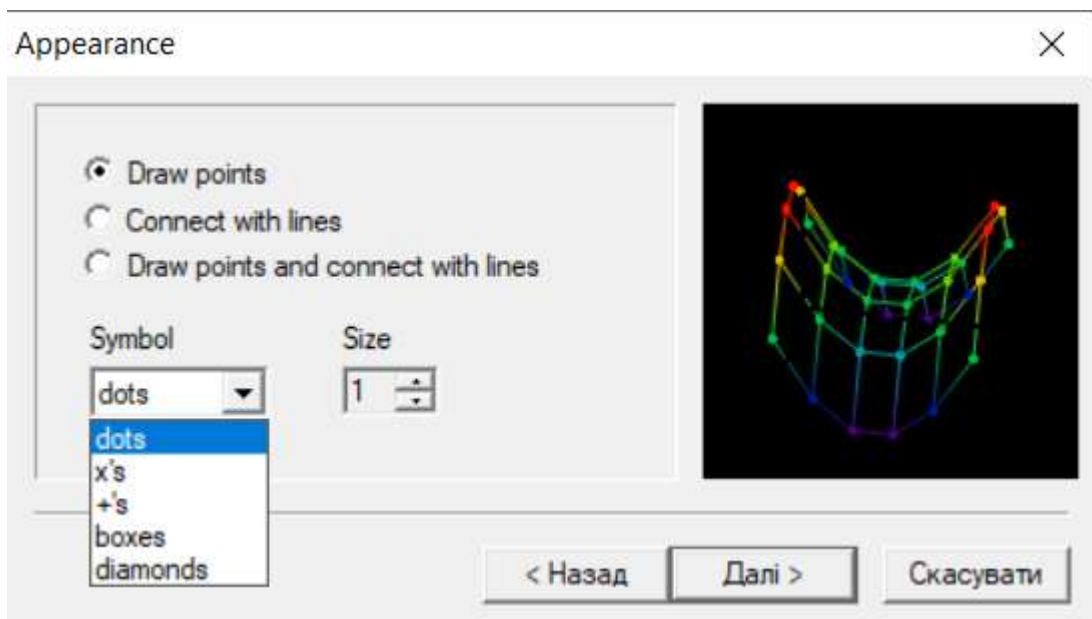


Рисунок 4.53 – Налаштування вигляду діаграми розсіювання у 3D Plot Wizard

Далі (рис. 4.54), як і для поверхневого графіка, необхідно вибрати стиль зафарбовування: Color by height, Color using lighting, Solid color.

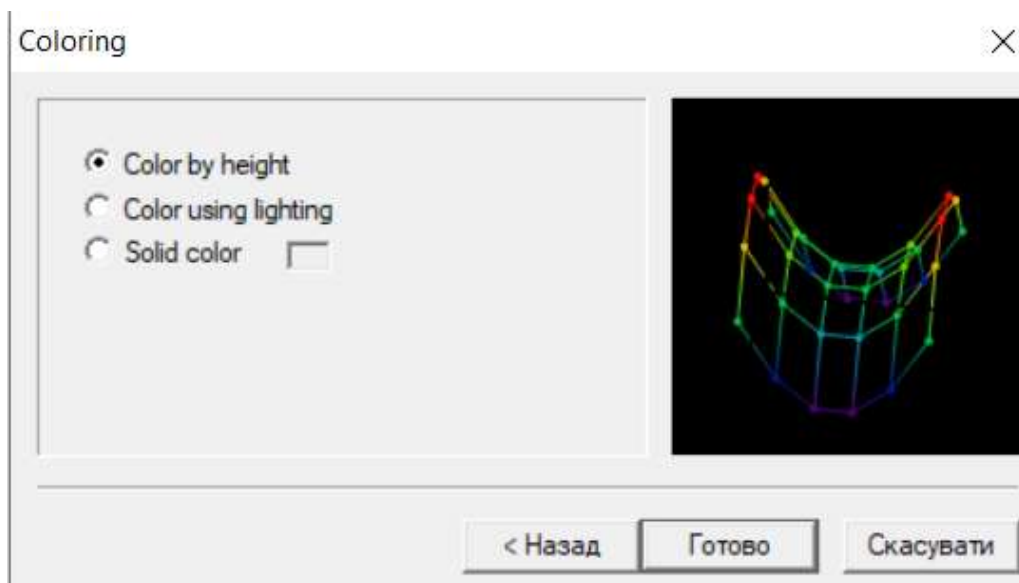


Рисунок 4.54 – Вибір типу зафарбовування діаграми розсіювання у 3D Plot Wizard

На рис. 4.55 наведено приклади побудованих діаграм розсіювання зі з'єднаними лініями точками: із зафарбовуванням суцільним кольором (а), із зафарбовуванням мапою кольорів (b), із доданням ефекту освітлення (с)

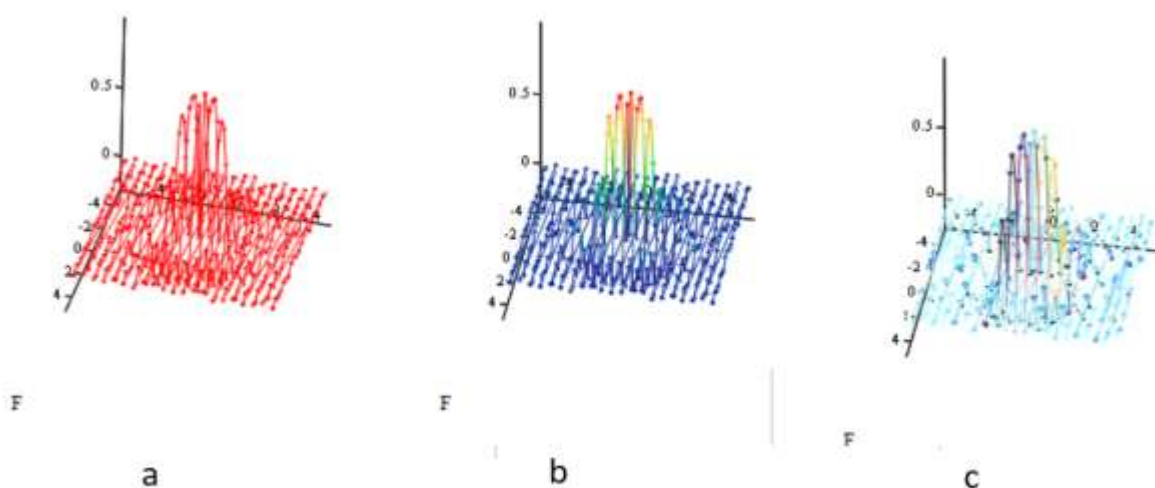


Рисунок 4.55 – Приклади побудованих діаграм розсіювання зі з'єднаними точками за допомогою 3D Plot Wizard

5 ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, АПРОКСИМАЦІЯ ТА ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ У MATHCAD

Якщо відомі значення оригінальної функції у окремих точках графіка, для побудови кривої чи поверхні на основі цих точок можуть бути використані методи інтерполяції та апроксимації.

5.1 Інтерполяція точок кривих і 3D-поверхонь

Метод інтерполяції полягає у тому, що крива проходить точно через точки на графіку.

Найпростіший спосіб побудови інтерполяційної кривої у Mathcad передбачає з'єднання точок на графіку за допомогою лінійних виразів.

Для цього використовується функція `linterp`. Перший параметр `linterp` відповідає вектору значень аргументу оригінальної функції, другий параметр відповідає вектору значень оригінальної функції, третій аргумент відповідає змінній, відносно якої обчислюється значення інтерполяційної кривої.

Окрім того, наявна можливість більш гладко з'єднати точки графіка за допомогою кубічних сплайнів. Для цього використовується функція `interp`. Перший параметр є вектором, що переважно містить значення других похідних у вузлах кривої. Інші параметри відповідають параметрам функції `linterp`.

Для отримання вектора других похідних можуть бути використані функції `lspline`, `rspline`, `cspline`. У випадку застосування `lspline` перша та остання ділянки кривої характеризуються лінійною поведінкою, у випадку застосування `rspline` – параболічною поведінкою, `cspline` – кубічною поведінкою.

На рис. 5.1 наведено приклад побудови лінійної інтерполяційної кривої та трьох типів сплайнових інтерполяційних кривих відносно дискретного набору даних. На цьому та наступних рисунках розділу дискретний набір значень оригінальної функції подається у вигляді точок, а побудовані криві подаються у вигляді ліній різного типу.

$i := 0..9$ ————— Інтервал індексів точок графіка
 $x_i := i$ ————— Задання вектора аргументів
 $y_i := 0.01(x_i)^3 - \text{md}(x_i)$ ————— Задання вектора значень

 $\text{linear_interpolation}(iks) := \text{linterp}(x, y, iks)$ ————— Вираз лінійної інтерполяції

 $\text{second_derivatives} := \text{lspline}(x, y)$
 $\text{second_derivatives2} := \text{pspline}(x, y)$ ————— Отримання векторів
 $\text{second_derivatives3} := \text{cspline}(x, y)$ ————— других похідних у точках

 $\text{spline}(iks) := \text{interp}(\text{second_derivatives}, x, y, iks)$ ————— Три типи сплайнової
 $\text{spline2}(iks) := \text{interp}(\text{second_derivatives2}, x, y, iks)$ ————— інтерполяції
 $\text{spline3}(iks) := \text{interp}(\text{second_derivatives3}, x, y, iks)$

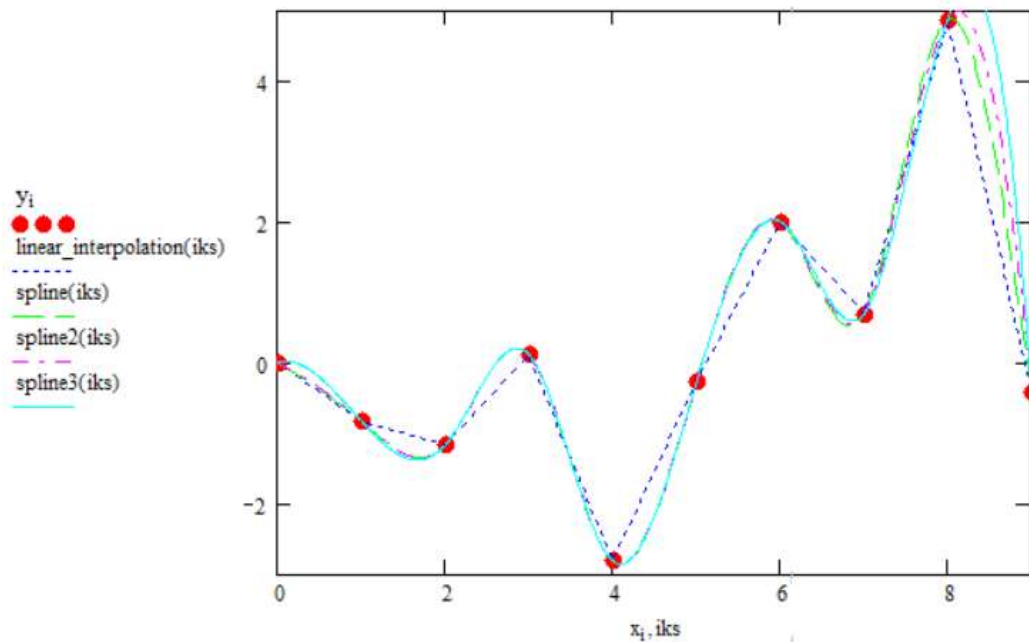


Рисунок 5.1 – Приклад формування лінійної та сплайнових інтерполяційних кривих

Окрім того, для побудови інтерполяційної кривої у Mathcad можна використати В-сплайни. В-сплайни додатково передбачають використання вузлів, у яких з'єднуються окремі сегменти кривої. Набір вузлів, як правило, не збігається із набором контрольних точок кривої, що надає можливість більш гнучкого управління формою кривої.

Для побудови інтерполяційної кривої на основі В-сплайнів необхідно задати степінь полінома n (від 1 до 3), набір точок даних оригінальної функції

або результатів вимірювання, набір вузлів для з'єднання сегментів кривої. Розмір набору вузлів має бути на $n - 1$ менший, ніж розмір набору точок даних.

Перший елемент набору вузлів має бути меншим або дорівнювати першому елементу набору точок даних. Останній елемент набору вузлів має бути більшим або дорівнювати останньому елементу набору точок даних.

Набори аргументів і значень у точках кривої, координат вузлів, степінь полінома є аргументами функції `bspline`, яка повертає набір коефіцієнтів для функції `interp`.

На рис. 5.2 наведено приклад побудови інтерполяційної кривої на основі В-сплайнів степеня 1, на рис. 5.3 – на основі В-сплайнів степеня 2, на рис. 5.4 – на основі В-сплайнів степеня 3.

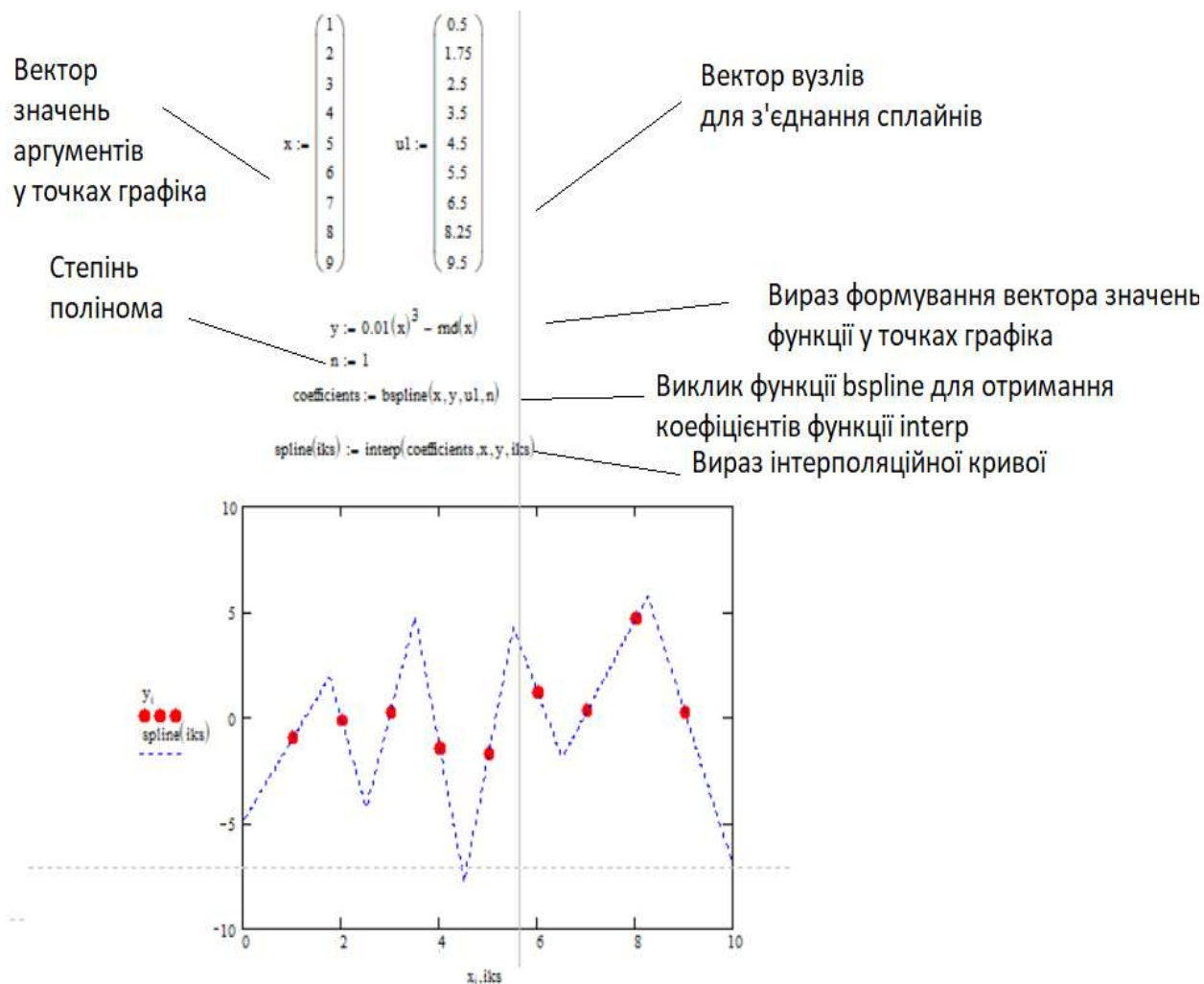


Рисунок 5.2 – Побудова інтерполяційної кривої на основі В-сплайнів степеня 1

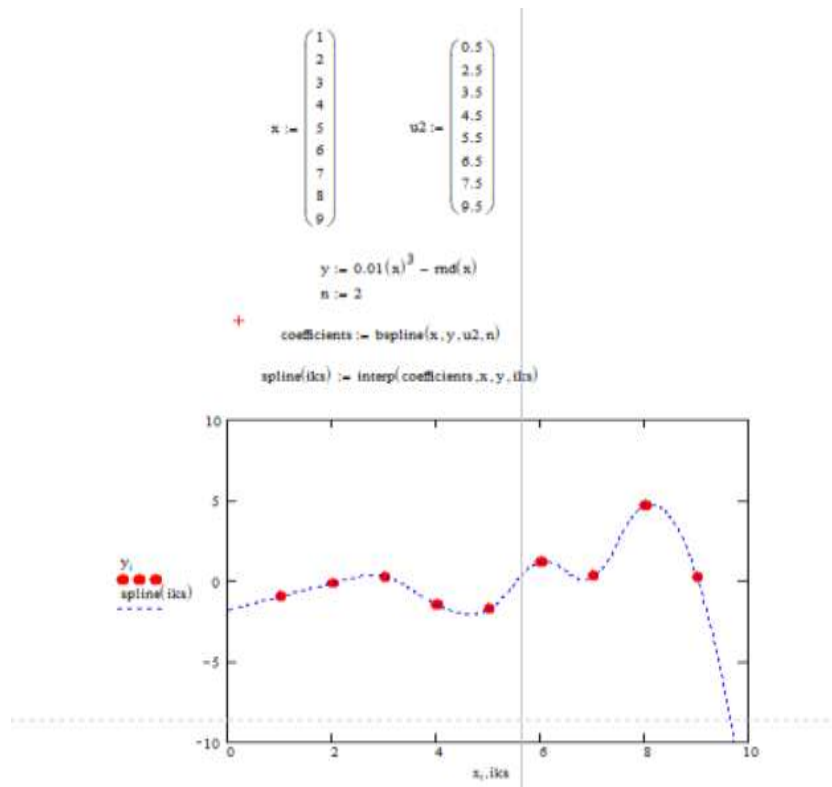


Рисунок 5.3 – Побудова інтерполяційної кривої на основі В-сплайнів степеня 2

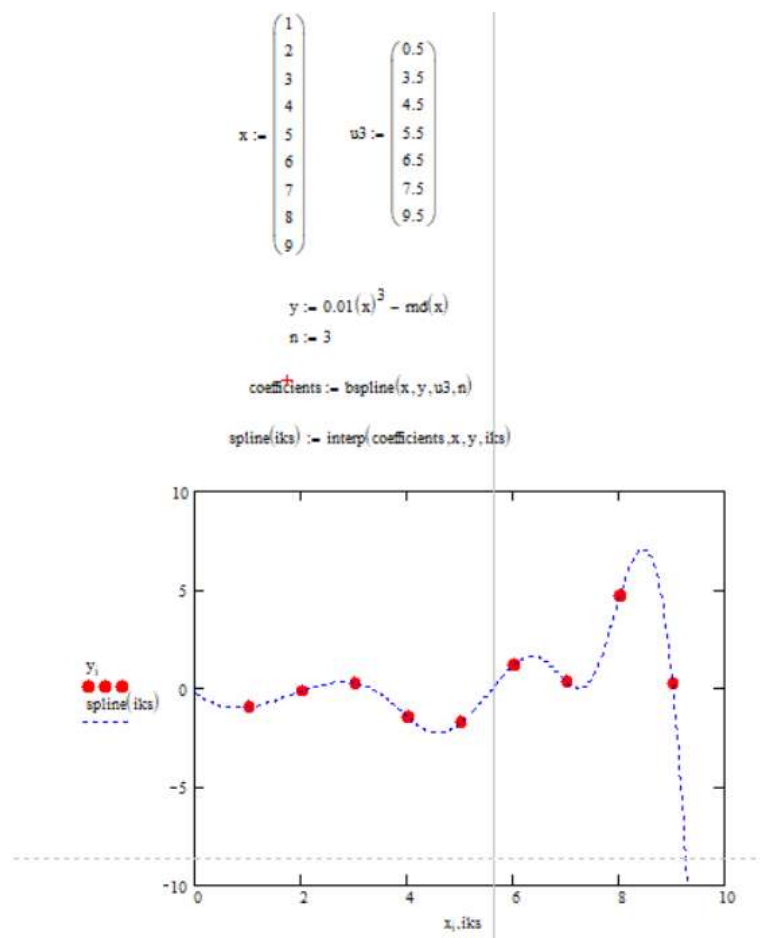


Рисунок 5.4 – Побудова інтерполяційної кривої на основі В-сплайнів степеня 3

Функція `interp` разом із допоміжними функціями `lspline`, `pspline`, `cspline` можуть також бути використані для інтерполяції точок поверхні на 3D-графіку. У такому випадку, перший параметр функцій `lspline`, `pspline`, `cspline` є матрицею із двох стовпців, що відповідають значенням аргументів оригінальної функції по осях X та Y. Другий параметр функцій є квадратною матрицею значень оригінальної функції по осі Z. `lspline`, `pspline`, `cspline` повертають вектори зі значенням других похідних у точках поверхні 3D-графіка. Функція `interp` як параметри приймає вектор других похідних, отриманий від допоміжної функції, матрицю значень аргументів оригінальної функції по осях X, Y, матрицю значень оригінальної функції, вектор із двох рядків, що відповідають координатам точки поверхні, у якій здійснюється інтерполяція.

На рисунку 5.5 наведено приклад налаштування інтерполяції точок поверхні з використанням функцій `interp`, `lspline`, `pspline`, `cspline`.

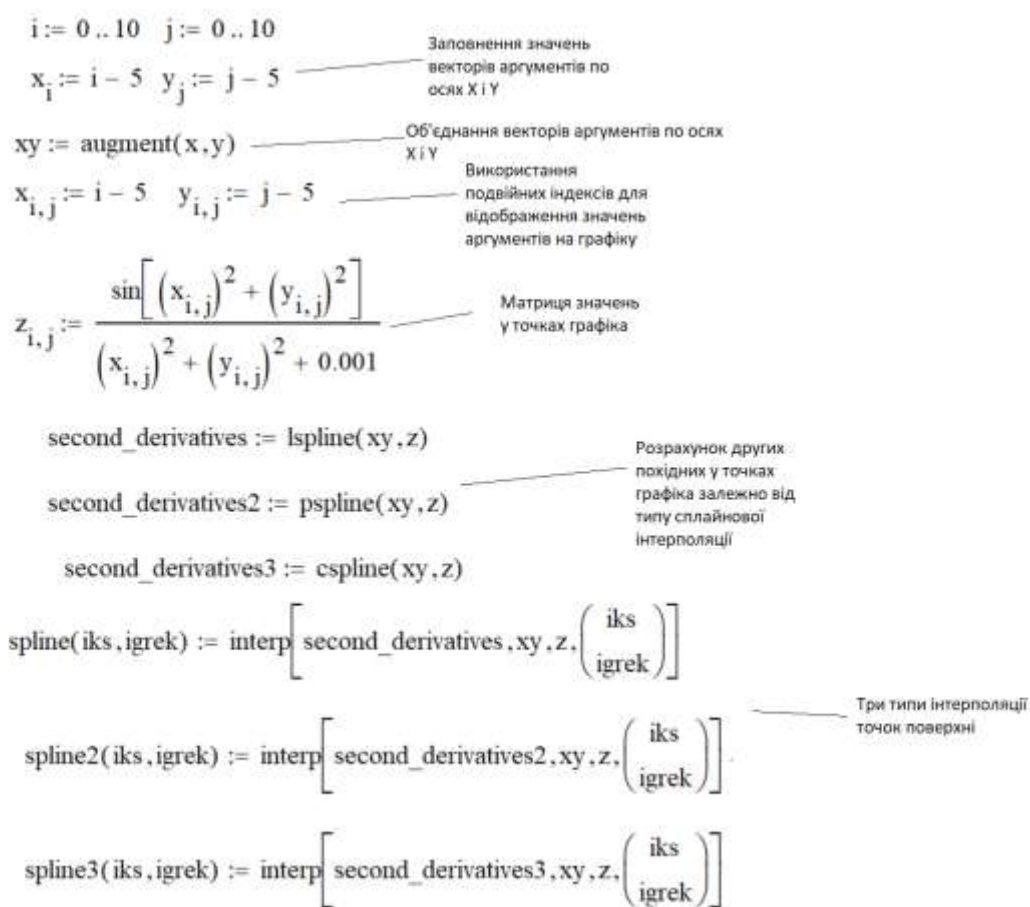


Рисунок 5.5 – Налаштування трьох типів інтерполяції точок поверхні у робочій області Mathcad

На рис. 5.6 червоним кольором виділено оригінальні точки поверхні. На рис. 5.6, а додатково синім кольором виділено інтерпольовані точки з використанням `lspline`, на рис. 5.6, b – інтерпольовані точки з використанням `pspline`, на рис. 5.6, c – інтерпольовані точки з використанням `cspline`. Усі точки графіка з'єднано лініями.

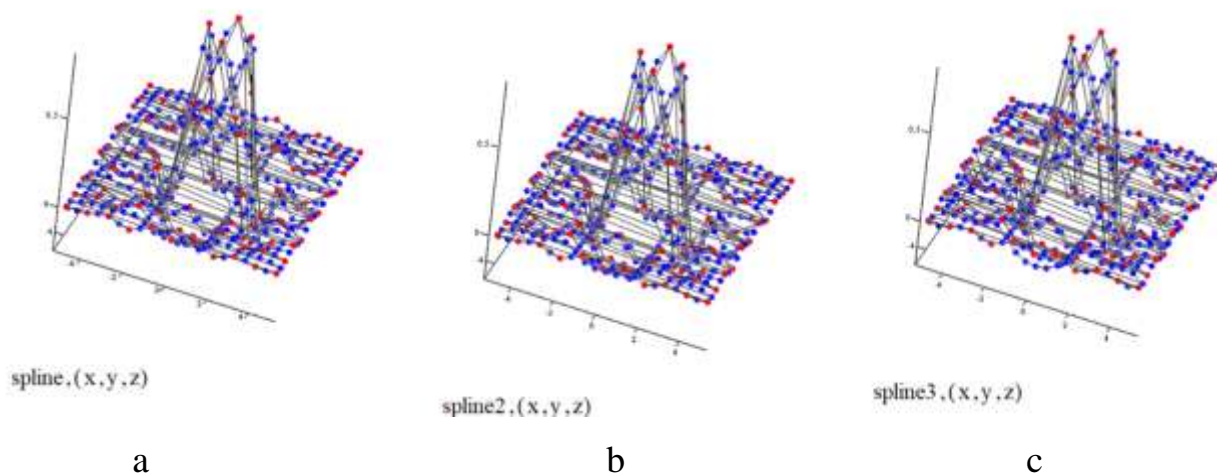


Рисунок 5.6 – Інтерполяція точок 3D-поверхні на основі `lspline` (a), `pspline` (b), `cspline` (c)

5.2 Побудова апроксимаційних кривих і 3D-поверхонь

Метод апроксимації полягає у тому, що крива проходить наближено до точок на графіку. Для формування апроксимаційної кривої у Mathcad наявний набір функцій різного типу.

Перша з функцій `line` полягає у апроксимації оригінальної функції на основі лінійної регресії. Відповідно, використовується апроксимаційний вираз виду $a \cdot x + b$, де a, b – коефіцієнти. Перший аргумент функції `line` є вектором аргументів оригінальної функції у точках графіка, другий аргумент `line` – вектор значень оригінальної функції у точках графіка.

Функція `line` повертає вектор з коефіцієнтами a, b . Відповідно доступ до вектора коефіцієнтів може бути здійснений за його індексами. Коефіцієнт нахилу a також може бути отриманий за допомогою функції `slope`, коефіцієнт зсуву b – за допомогою функції `intercept`.

Окрім того, функція `stderr`, параметри якої відповідають функції `line`, дозволяє обчислити середньоквадратичну похибку апроксимації оригінальної функції за допомогою лінійної регресії.

На рис. 5.7 наведено приклади формування апроксимаційної кривої за допомогою функції `line`, а також приклади застосування функцій `slope`, `intercept`, `stderr`.

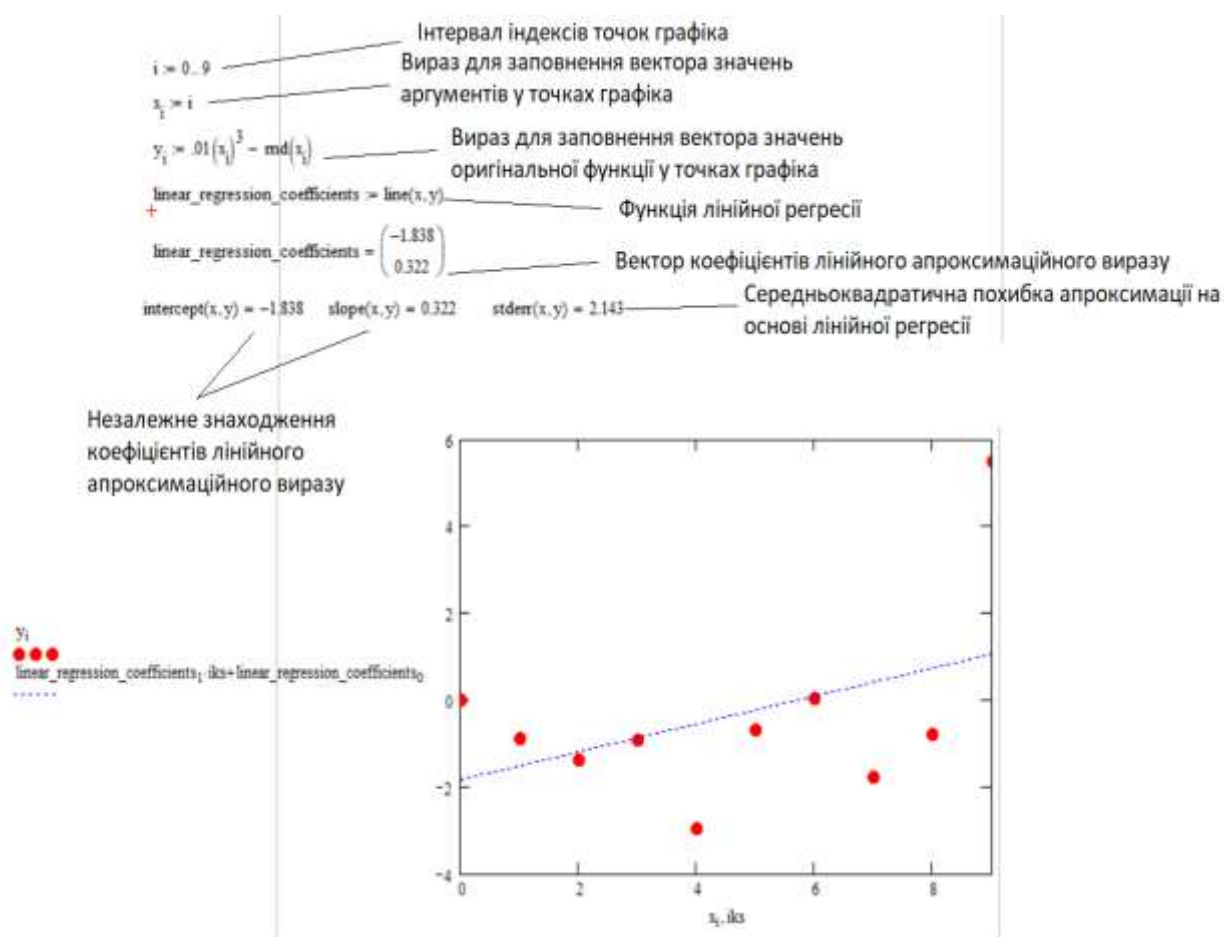


Рисунок 5.7 – Приклад формування апроксимаційної кривої на основі функції лінійної регресії `line`

Функція `medfit`, як і `line`, забезпечує лінійну апроксимацію оригінальної функції, однак є більш стійкою до викидів даних. Параметри `medfit` відповідають параметрам `line`; особливість `medfit` полягає у тому, що набір даних ділиться на три частини. Для першої та останньої частин знаходяться

медіанні значення оригінальної функції, які далі поєднуються лінією. Функція повертає значення коефіцієнтів нахилу та зсуву цієї лінії.

На рис. 5.8 наведено приклад застосування `medfit` для формування апроксимаційної кривої.

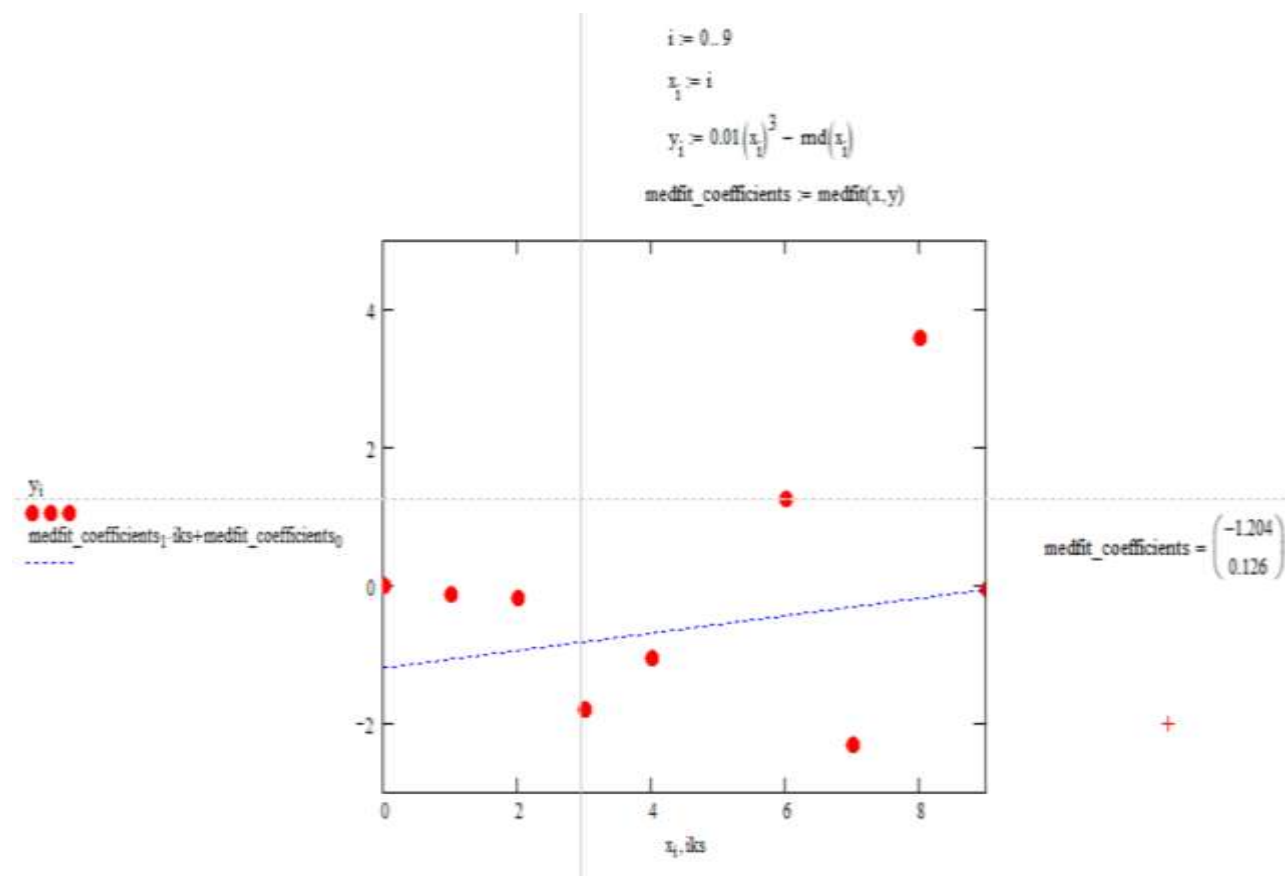


Рисунок 5.8 – Застосування `medfit` для формування апроксимаційної кривої

Більш гнучкою є функція поліноміальної регресії `regress`, що дозволяє задати степінь апроксимаційного полінома n . Перші два аргументи `regress` є векторами аргументів і значень оригінальної функції у точках графіка, третій аргумент визначає степінь полінома. Для формування апроксимаційної кривої використовується функція `interp`, перший аргумент якої є вектором коефіцієнтів і отримується внаслідок виклику `regress`. Максимальний степінь апроксимаційного полінома є меншим, ніж число точок даних на графіку.

На рис. 5.9 наведено приклад формування апроксимаційної кривої з використанням функції поліноміальної регресії `regress`.

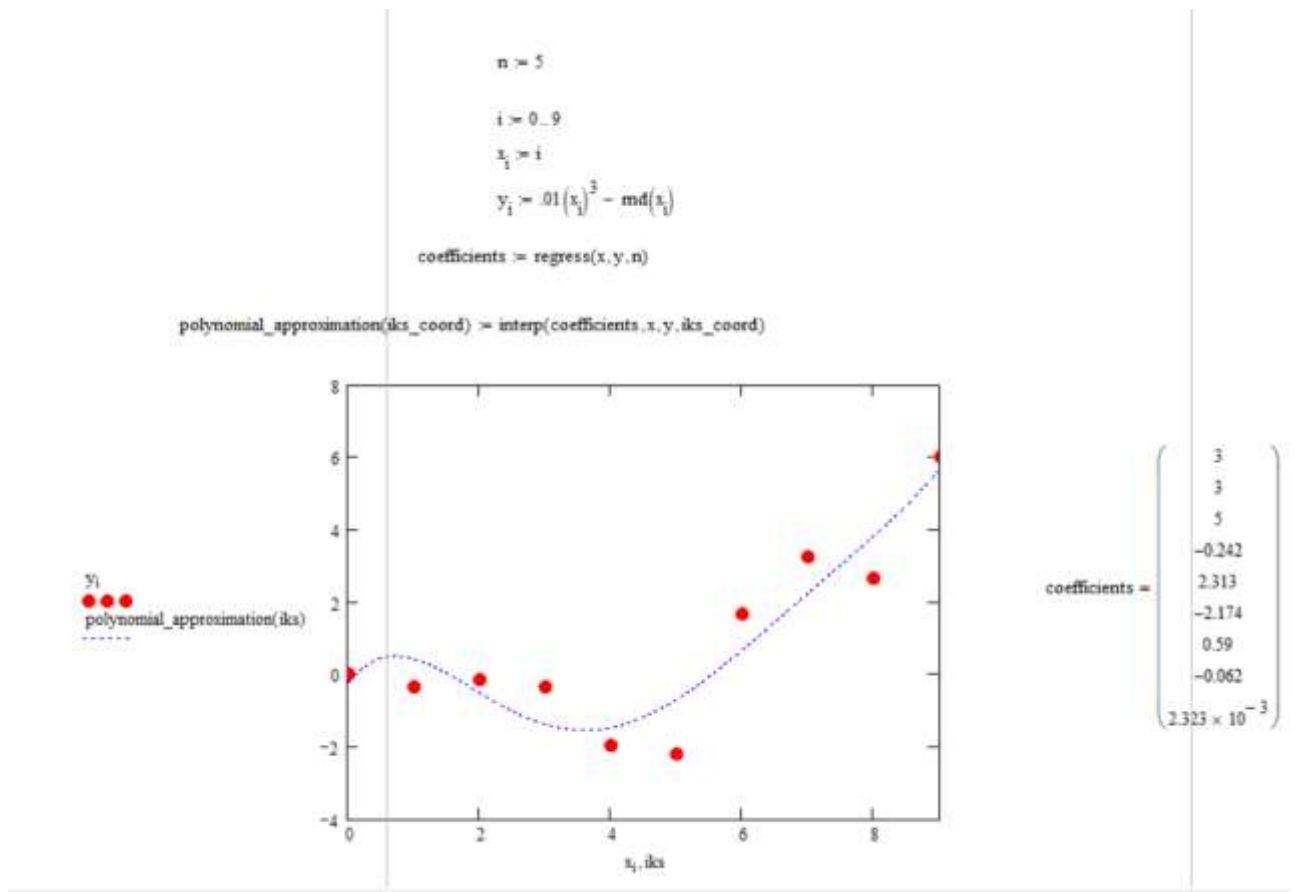


Рисунок 5.9 – Формування апроксимаційної кривої з використанням функції поліноміальної регресії regress

Іншою функцією для формування апроксимаційної кривої є loess. Функція loess полягає у знаходженні набору поліномів другого степеня, що найбільш точно апроксимують набір точок графіка у їх око́лах певного розміру. Розмір око́лів точок визначається додатним параметром span. Менші значення span забезпечують більш точне наближення кривої до набору даних, однак крива є менш гладкою, ніж за більших значень параметра. Рекомендованим початковим значенням span є 0.75. Перші два параметри loess відповідно відповідають векторам аргументів та значень оригінальної функції.

Результат виконання функції loess є великим вектором коефіцієнтів, що передається першим параметром функції interp.

На рис. 5.10 наведено приклад формування апроксимаційної кривої з використанням функції loess за значень span 0.6 і 1.

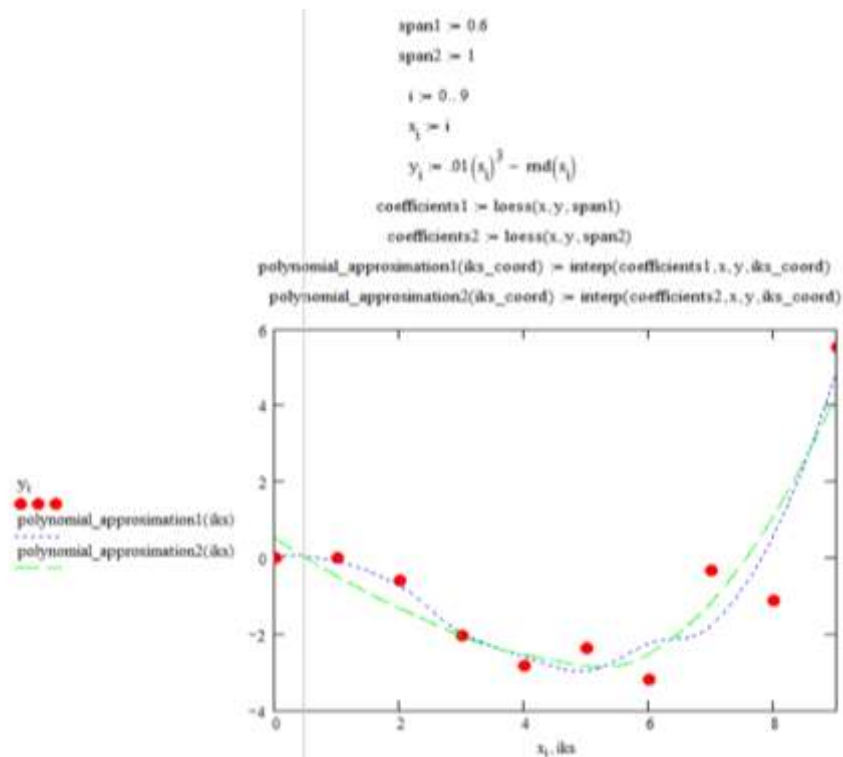


Рисунок 5.10 – Формування апроксимаційних кривих з використанням loess за різних значень параметра span

Функції regress і loess також можуть бути використані для формування тривимірної поверхні на графіку функції двох змінних. Тоді першим параметром функцій є матриця, два стовпці якої містять значення аргументів оригінальної функції по осях X і Y (пари координат відповідають вибірці точок). Другий параметр є вектором (на відміну від 2D-матриці у разі використання lspline, pspline, cspline), який містить значення оригінальної функції по осі Z, відповідні рядкам матриці першого параметра. Результати функцій regress і loess використовуються як перший параметр функції interp. Останній параметр interp є вектором з двох рядків, що визначають координати точки 3D-поверхні. Важливо зазначити, що число точок оригінальної функції для regress має бути більшим, ніж $((n+k-1)! / (n!(k-1)!)) \cdot ((n+k)/k)$, де n, k – відповідно степінь апроксимаційного полінома і кількість змінних аргументу оригінальної функції.

На рис. 5.11 наведено приклад побудови тривимірної поверхні відносно точок графіка з використанням функції regress. Червоні точки є точками значень

оригінальної функції, сині точки відповідають сформованій на їх основі поверхні.

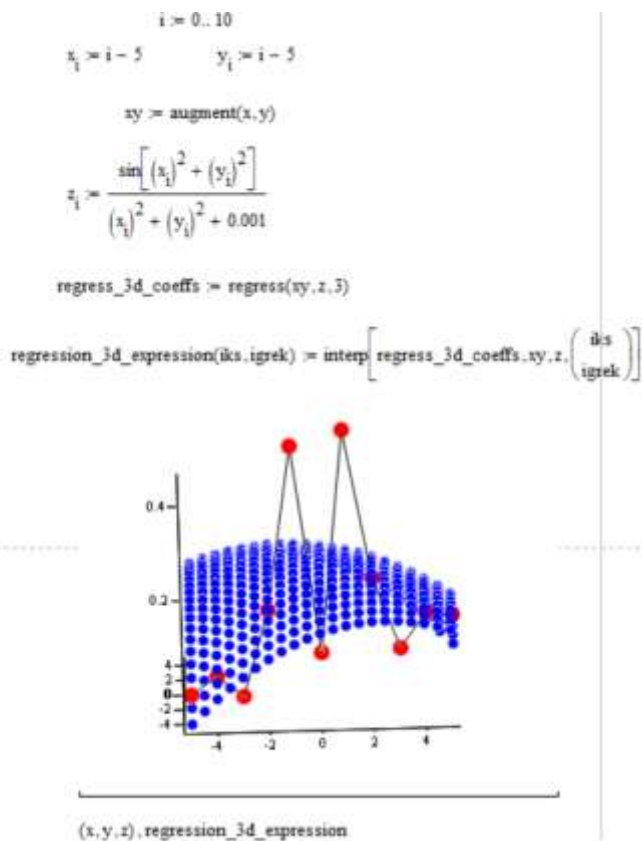


Рисунок 5.11 – Приклад формування 3D-поверхні з використанням regress

На рис. 5.12 наведено приклад формування 3D-поверхні на основі точок значень оригінальної функції з використанням loess.

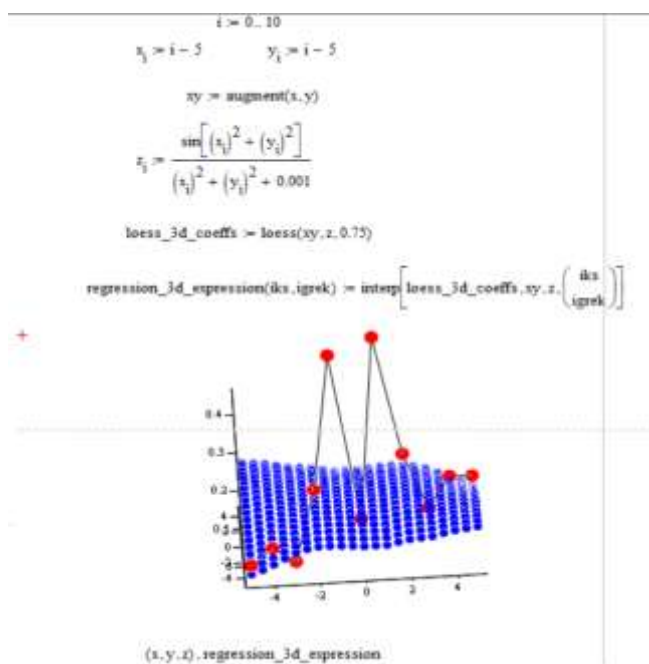


Рисунок 5.12 – Приклад формування 3D-поверхні з використанням loess

Наступні апроксимаційні функції, окрім векторів аргументів і значень оригінальної функції у точках графіка, характеризуються третім векторним параметром, що містить початкові наближення апроксимаційних коефіцієнтів a, b, c . Результатом цих функцій є вектор розрахованих коефіцієнтів a, b, c , що мають бути підставлені у вираз відповідного типу. Доступ до елементів вектора здійснюється через його нижні індекси.

Функція `expfit` дозволяє побудувати апроксимаційну криву на основі експоненціального виразу вигляду $a \cdot e^{bx} + c$. На рис. 5.13 наведено приклад формування апроксимаційної кривої з використанням `expfit`.

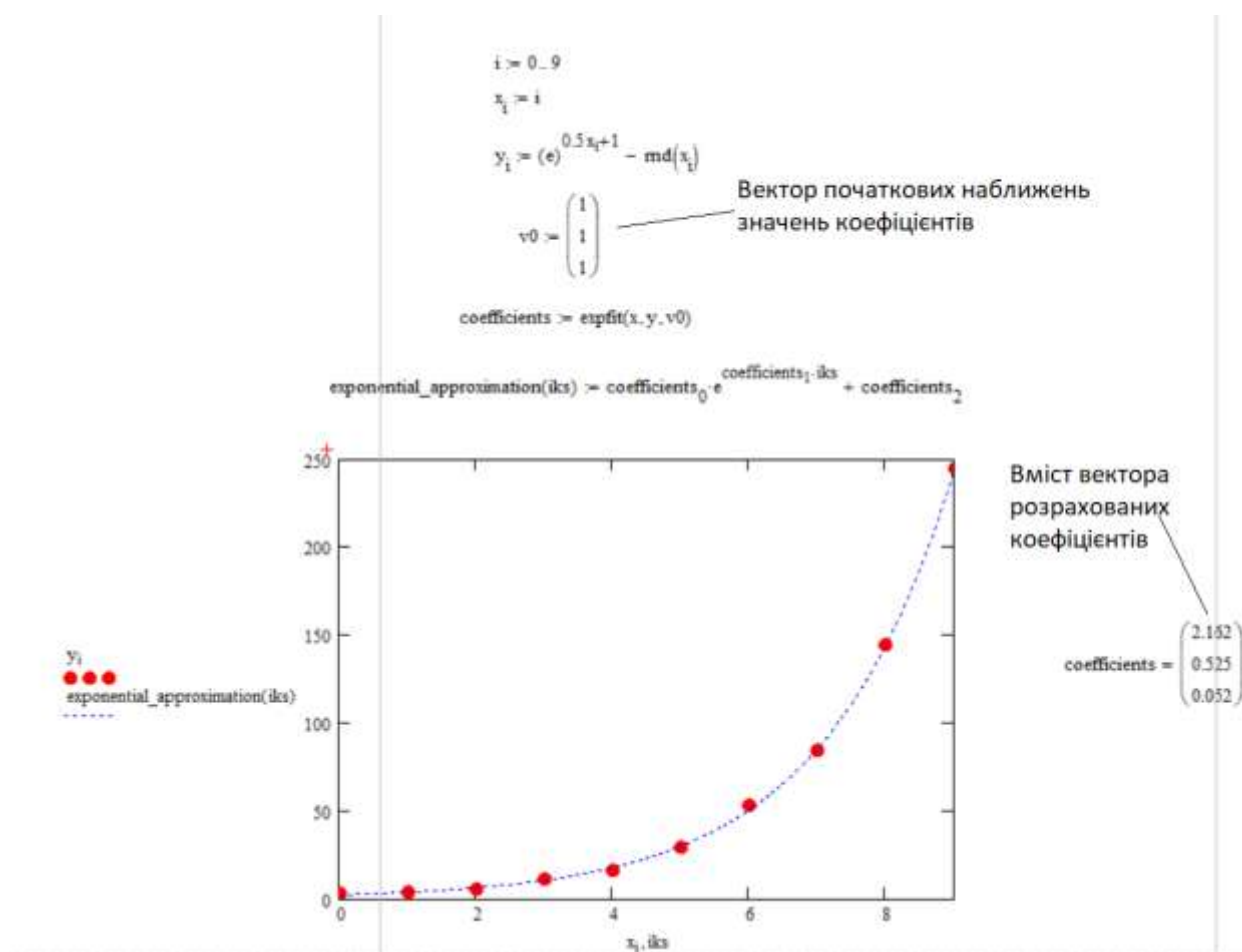


Рисунок 5.13 – Формування апроксимаційної кривої на основі `expfit`

Функція `pwrfit` для апроксимації оригінальної функції передбачає використання степеневого виразу типу $a \cdot x^b + c$. Приклад застосування `pwrfit` наведено на рис. 5.14.

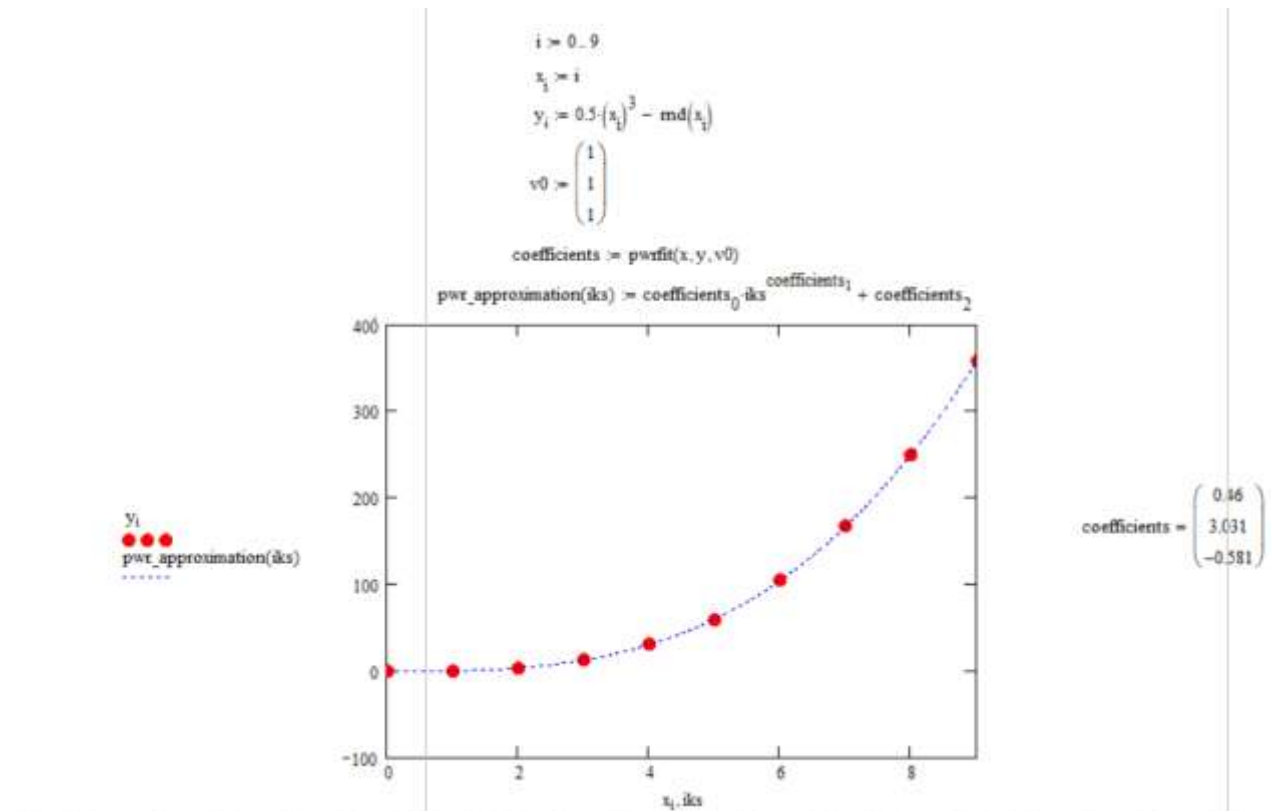


Рисунок 5.14 – Формування апроксимаційної кривої з використанням pwrfit

Функція sinfit полягає у апроксимації оригінальної функції синусоїдою типу $a \cdot \sin(b + x) + c$. Приклад застосування sinfit наведено на рис. 5.15.

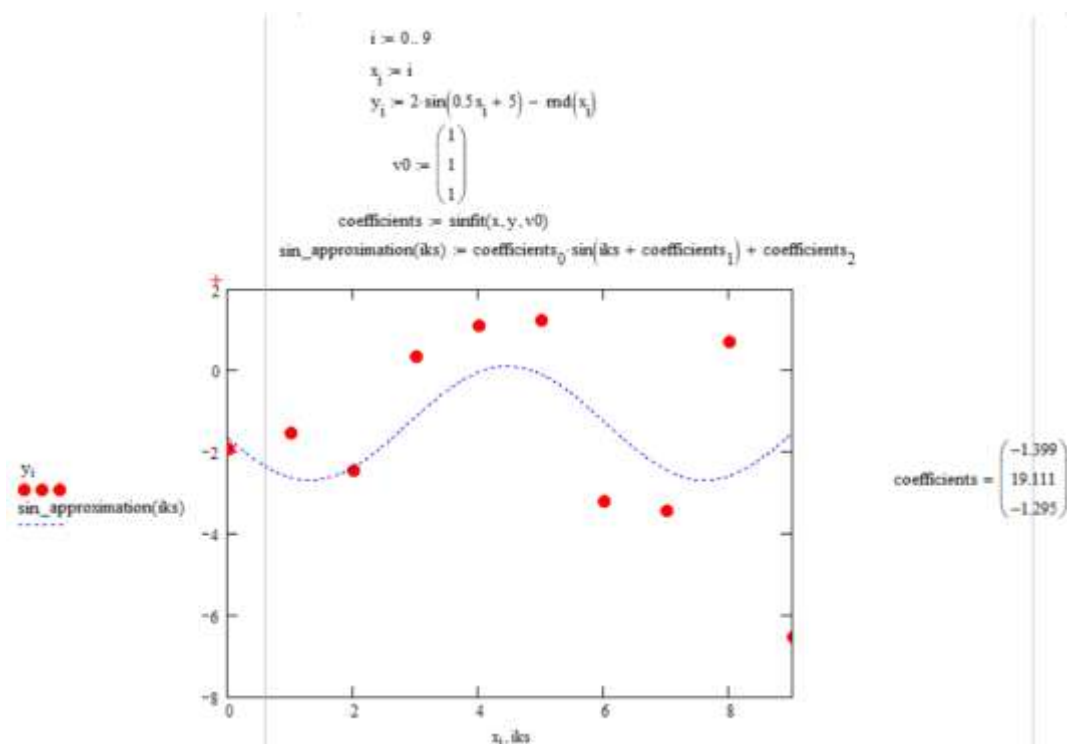


Рисунок 5.15 – Застосування sinfit для побудови апроксимаційної кривої

Функція `logfit` забезпечує апроксимацію оригінальної функції логарифмічною функцією виду $a \cdot \ln(b + x) + c$. Приклад формування апроксимаційної кривої на основі функції `logfit` наведено на рисунку 5.16.

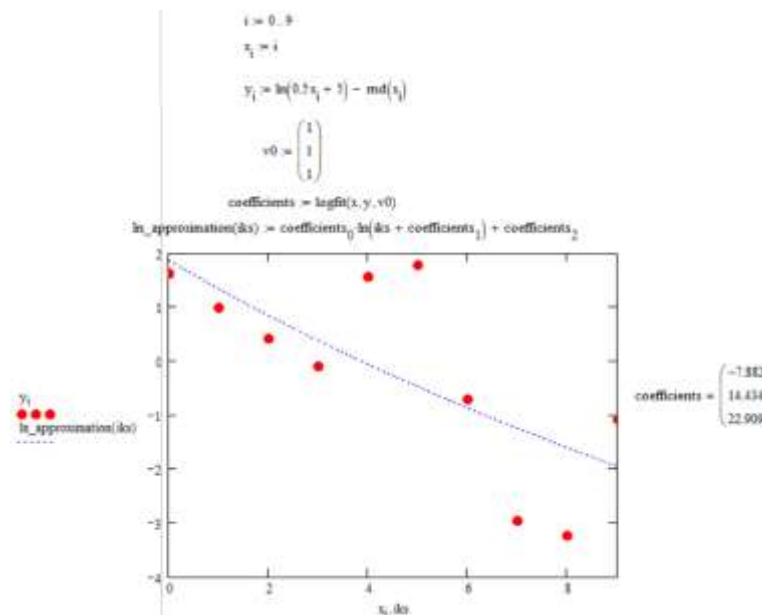


Рисунок 5.16 – Застосування `logfit` для побудови апроксимаційної кривої

Більш простою логарифмічною апроксимаційною функцією є `lnfit` виду $a \cdot \ln(x) + b$. Приклад застосування цієї функції наведено на рис. 5.17.

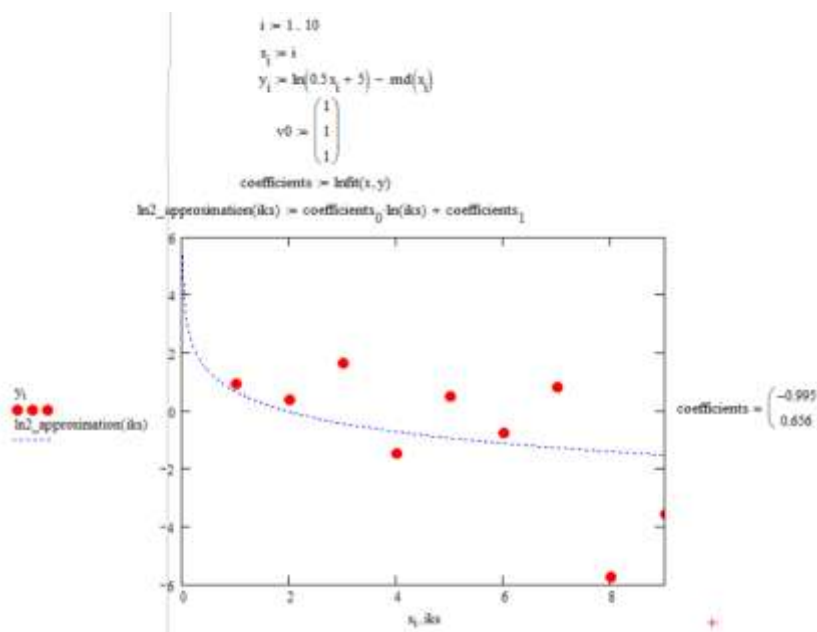


Рисунок 5.17 – Застосування `lnfit` для побудови апроксимаційної кривої

Для Infit вектор початкових наближень коефіцієнтів не зазначається.

Для формування апроксимаційної кривої на основі логістичної регресії використовується функція lgsfit типу $a/(1+b \cdot e^{-c \cdot x})$. Приклад формування апроксимаційної кривої з використанням lgsfit наведено на рис. 5.18.

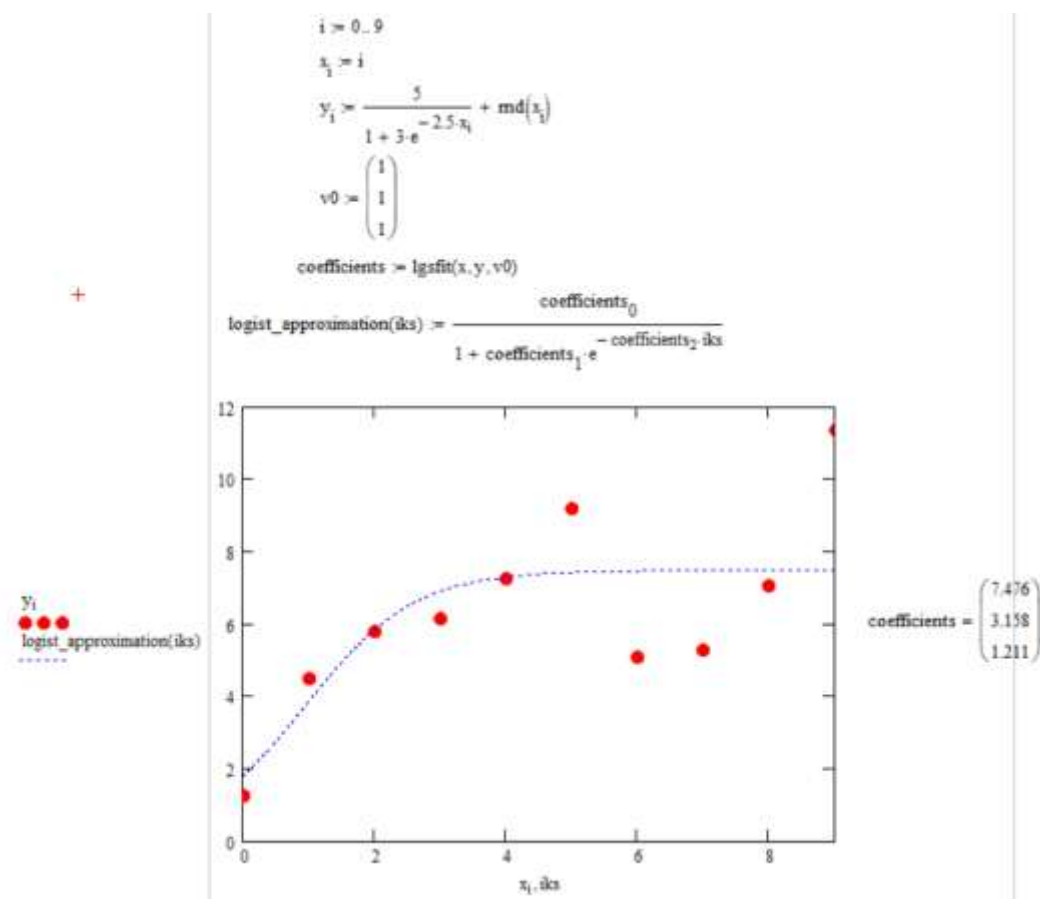


Рисунок 5.18 – Формування апроксимаційної кривої на основі lgsfit

Окрім того, у Mathcad наявні функції, що дозволяють знайти коефіцієнти довільного виразу для апроксимації оригінальної функції. Однією із таких функцій є genfit.

Першими трьома параметрами genfit відповідно є вектор значень аргументів оригінальної функції у точках графіка, значень оригінальної функції у точках графіка, початкові наближення значень коефіцієнтів. Четвертий параметр є вектором, що містить довільний вираз для апроксимації та його частинні похідні по усіх коефіцієнтах (для обчислення частинної похідної виразу необхідно виділити потрібну змінну виразу, послідовно вибрати пункти

меню Mathcad Symbolics→Variable→Differentiate). genfit повертає набір розрахованих значень коефіцієнтів для підстановки у заданий користувачем вираз. На рис. 5.19 наведено приклад застосування genfit для формування апроксимаційної кривої.

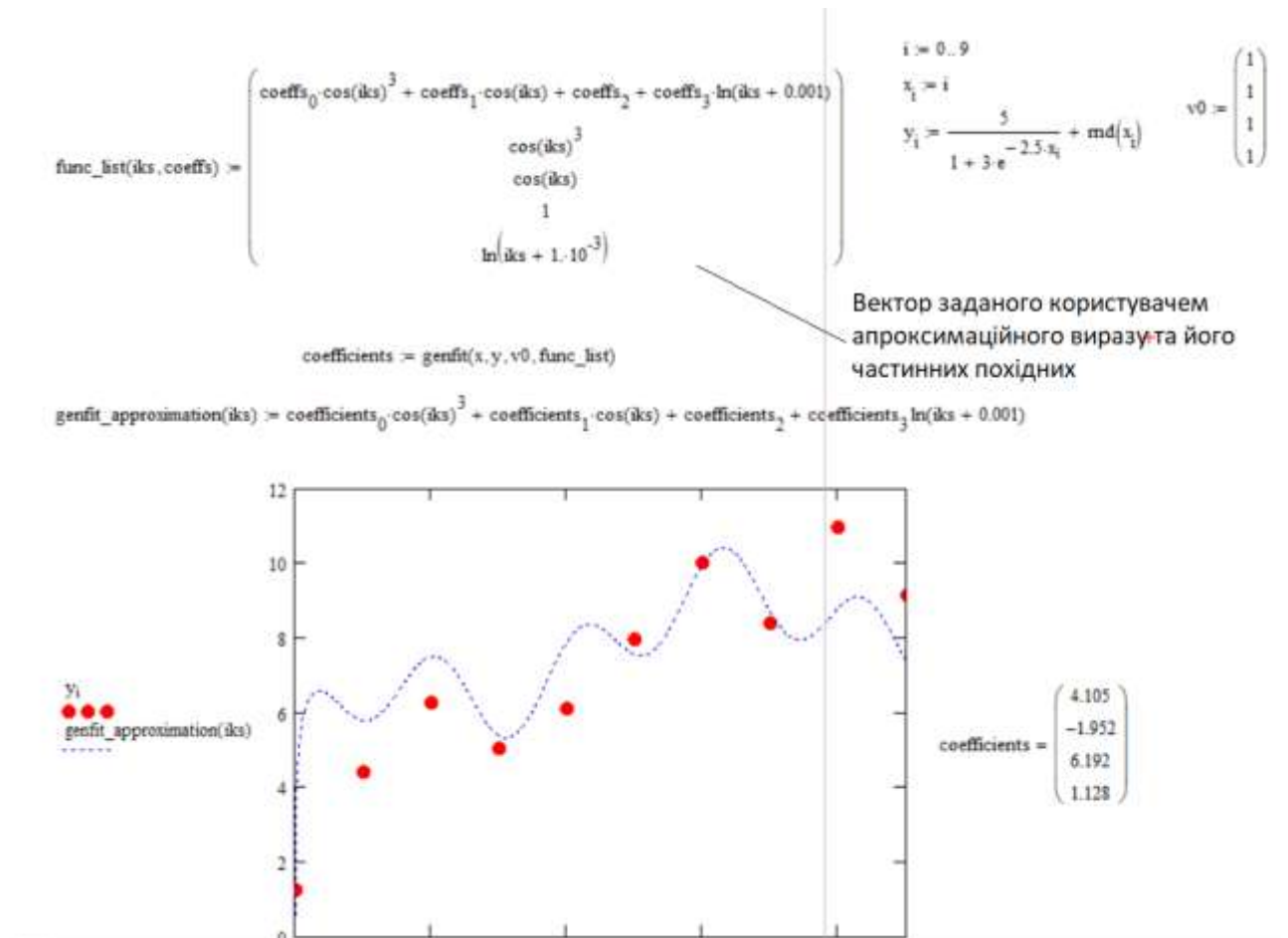


Рисунок 5.19 – Приклад застосування genfit для побудови апроксимаційного виразу на основі заданого користувачем виразу

Альтернативно для апроксимації оригінальної функції можна використати зважену суму довільно вибраних користувачем функцій. Для цього, використовується функція `linfit`. Перші два параметри функції відповідають векторами аргументів і значень оригінальної функції. Третій параметр `linfit` – це вектор, який містить набір апроксимаційних функцій, що поєднуються ваговими коефіцієнтами. Результатом `linfit` є вектор вагових коефіцієнтів, які

мають бути підставлені у вираз із апроксимаційними функціями. На рис. 5.20 наведено приклад використання `linfit` для апроксимації оригінальної функції.

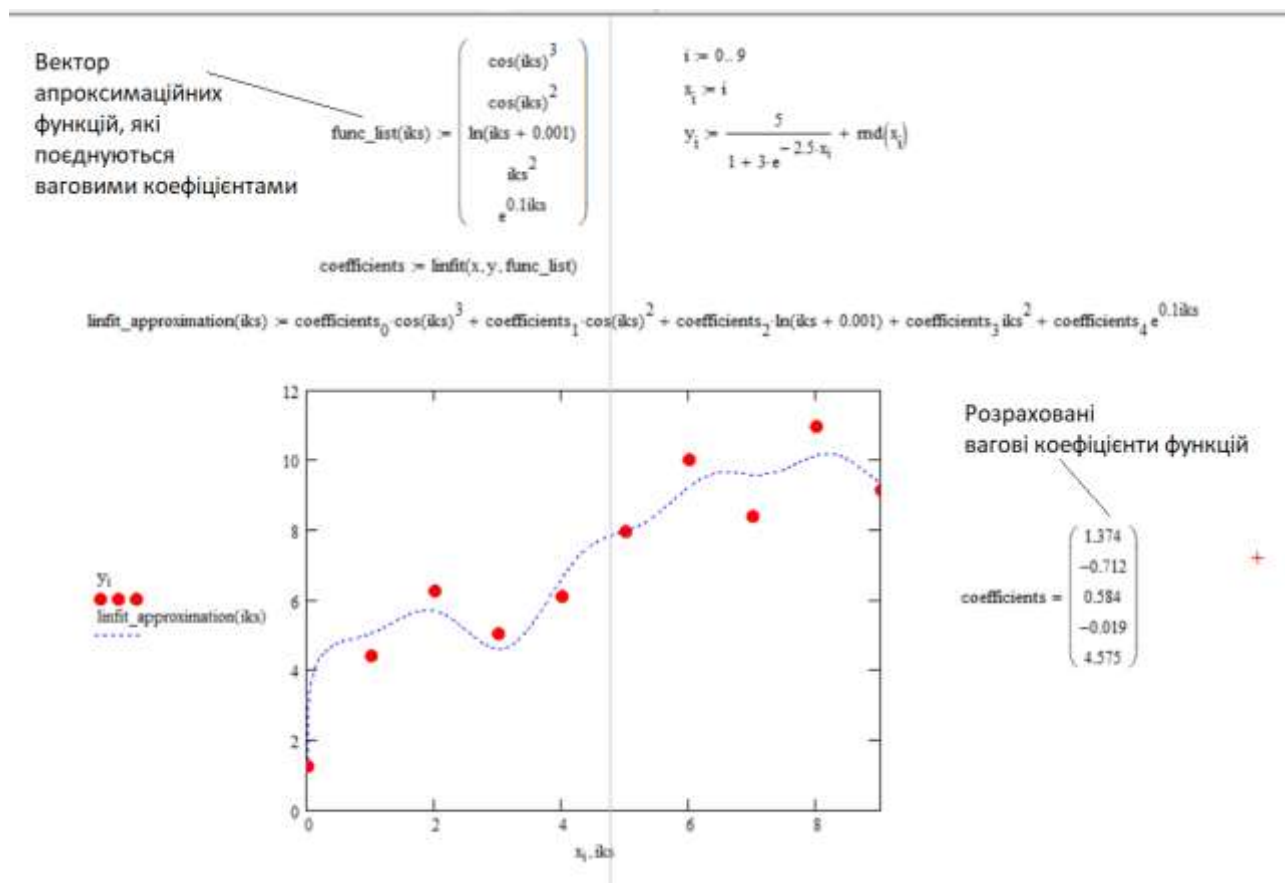


Рисунок 5.20 – Формування апроксимаційної кривої з використанням `linfit`

5.3 Екстраполяція даних

Окрім методів інтерполяції та апроксимації, що визначають як саме проходить крива через точки на графіку, наявний метод екстраполяції, що полягає у прогнозуванні, де можуть бути розміщені наступні точки на графіку. Тобто, визначається поведінка кривої за межами відомих даних.

Для реалізації методу екстраполяції у Mathcad наявна функція `predict`. Параметрами функції є вектор значень оригінальної функції у точках графіка, кількість останніх точок, на основі яких прогнозується поведінка кривої, кількість прогнозованих значень. На рис. 5.21 наведено приклад застосування функції `predict`.

Важливо зазначити, що індекси вектора передбачених точок у полі аргументів графіка мають починатись із числа, більшого на 1, ніж останній індекс вектора аргументів оригінальної функції. Тому на рис. 5.21 індекс `ind` зміщений на довжину вектора аргументів оригінальної функції `x`.

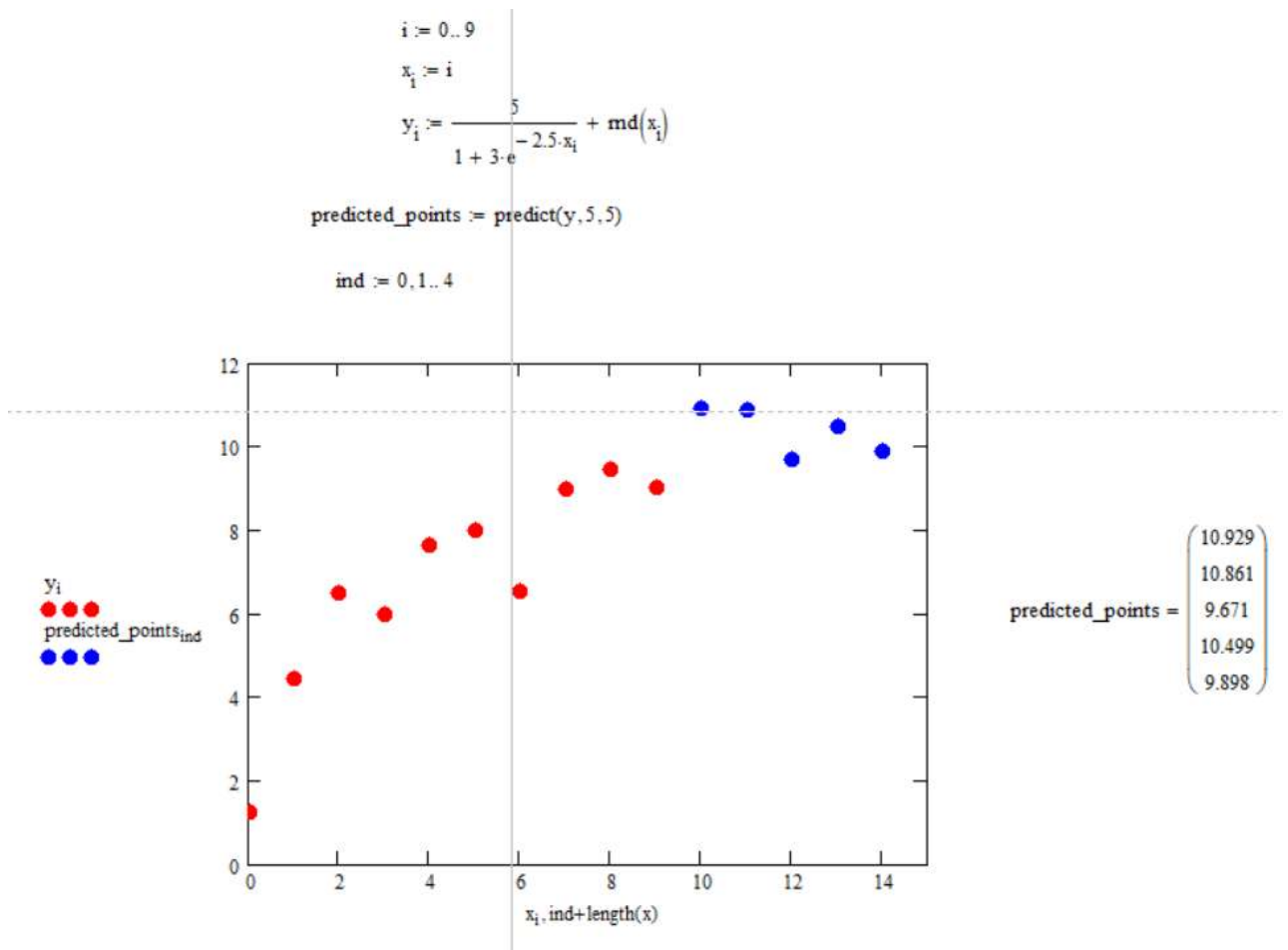


Рисунок 5.21 – Приклад застосування функції `predict` для екстраполяції даних

ВИСНОВКИ

У середовищі Mathcad побудова графіків є невід'ємною складовою математичного моделювання, аналізу даних і наочної візуалізації результатів обчислень. Завдяки інтеграції символічної та числової математики з потужними засобами візуалізації, Mathcad надає користувачам широкі можливості для ефективної роботи з дво- та тривимірними графіками.

У роботі детально розглянуто основні типи графіків, які можна створювати у Mathcad: декартові 2D-графіки, графіки у полярній системі координат, тривимірні графіки поверхонь, графіки ізоліній, гістограми, стовпчикові діаграми, графіки векторних полів та інші.

Особливу увагу приділено налаштуванню вигляду графіків: задання меж осей, форматів ліній, заливок, маркерів, ізоліній, стилів візуалізації 3D-сцени.

Mathcad також дозволяє здійснювати інтерполяцію, апроксимацію та екстраполяцію даних з побудовою відповідних кривих, що є важливим у прикладних дослідженнях, технічному аналізі та інженерних розрахунках.

Таким чином, можна зробити висновок, що середовище Mathcad забезпечує зручний, гнучкий та наочний інструментарій для побудови графіків різного типу та складності. Це дозволяє не лише проводити розрахунки, а й формувати професійно оформлені технічні та наукові документи з інтегрованими графічними результатами. Використання Mathcad значно підвищує ефективність інженерної та наукової діяльності.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ляшенко О. І., Литвин Н. О. Mathcad у прикладах і задачах : навч. посіб. Київ : Освіта України, 2020. 168 с.
2. Руденко В. І. Прикладне програмне забезпечення інженера: Mathcad, MATLAB, AutoCAD : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2021. 236 с.
3. Коваль С. А. Математичне моделювання в середовищі Mathcad : навч. посіб. Львів : ЛьвДУВС, 2022. 154 с.
4. Литвин Н. О. Візуалізація інженерних задач в Mathcad : метод. рек. Вінниця : ВНТУ, 2023. 98 с.
5. Горбенко С. В. Практикум з комп'ютерної математики: Mathcad, Matlab. Одеса : ОНАХТ, 2022. 112 с.
6. Олексієнко В. М. Візуалізація результатів експериментів в інженерних задачах : навч. посіб. Чернівці : ЧНУ, 2021. 132 с.
7. Сидоренко І. В. Обробка інженерних даних в системі Mathcad : метод. вказівки. Полтава : ПНТУ, 2020. 76 с.
8. Дяченко А. О. Побудова 3D-графіків і анімацій в Mathcad : метод. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2024. 122 с.
9. Савчук М. П. Використання Mathcad для обробки експериментальних даних : навч.-метод. матеріали. Тернопіль : ТНТУ, 2023. 88 с.
10. Тимченко П. А. Інженерні розрахунки з використанням Mathcad Prime : навч. посіб. Дніпро : ДНУ, 2024. 196 с.
11. PTC Inc. Mathcad Prime 7.0 Quick Start Guide [Electronic resource]. – Needham, MA: PTC Inc., 2021. 45 p. Access mode: <https://www.ptc.com>.
12. Akhmetov V. S., Rudenko T. S. Modeling and Visualization in Engineering with Mathcad. Berlin : Springer, 2023. 278 p.
13. Turan A. Advanced Engineering Mathematics with Mathcad. New York : Wiley, 2020. 426 p.
14. Zhang H. Mathcad Applications in Mechanical and Electrical Engineering. Singapore : World Scientific, 2021. 304 p.

15. PTC Inc. Mathcad Prime 8.0 Release Notes [Electronic resource]. Needham, MA : PTC Inc., 2023. Access mode: <https://www.ptc.com>.
16. Sousa C. A. Applied Numerical Methods Using Mathcad. London : Academic Press, 2024. 390 p.
17. Alvarez F. Data Visualization and Analysis in Mathcad for Engineers. Amsterdam : Elsevier, 2022. 228 p.
18. Reyes J. C. Numerical Problem Solving in Science and Engineering with Mathcad. New York : Springer Nature, 2023. 301 p.

Електронне навчальне видання

Олександр Никифорович Романюк

Євген Костянтинович Завальнюк

Графічні засоби візуалізації обчислень у Mathcad

Навчальний посібник

Рукопис оформив *Є. Завальнюк*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет виготовила *Т. Старічек*

Підписано до видання 21.05.2026 р.

Гарнітура Times New Roman.

Зам. № P2026-059.

Видавець та виготовлювач

Вінницький національний технічний університет,

Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, 21021.

press.vntu.edu.ua;

Email: irvc.vntu@gmail.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.