

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

З дисципліни  
«ВИПРОБУВАННЯ ДВЗ»

Харків  
ХНАДУ  
2019

НАСТАНОВА КОРИСТУВАЧА  
Комп'ютерної програми Approximation\_LSM

Автори програми  
Approximation\_LSM:

Прохоренко А.О.  
Грицюк О.В.  
Левченко Д.В.

## ЗМІСТ

1. Опис програмного комплексу Approximation_LSM.....	3
2. Системні вимоги для використання програми Approximation_LSM .....	7
3. Опис функціональних елементів робочого простору Approximation_LSM .....	8
4. Список функціональних елементів на робочому просторі програми розташованих за алфавітом.....	10

## 1. Опис програмного комплексу Approximation\_LSM

Approximation\_LSM (перекладається з англійської як Наближення\_Метод Найменших Квадратів) – це програмний комплекс, що створений як гнучкий допоміжний засіб для підвищення продуктивності при проведенні науково-дослідних робіт і зорієнтований на обробку експериментальних даних та швидку оцінку отриманих результатів. Даний комплекс дозволяє провести регресійний аналіз результатів експерименту за рахунок утворення зазначеного поліному регресії, що наближено відтворює досліджуваний фізичний процес та подальшого пошуку його невідомих коефіцієнтів. Степеневі поліноми являються найбільш розповсюдженими і затребуваними в теорії математичного планування експерименту при дослідженні фізичних процесів в механічних, гідропневматичних, електричних системах.

Approximation\_LSM побудована в середовищі MATLAB® на однойменному мові програмування і може використовуватись тільки за допомогою внутрішніх засобів програмного забезпечення MatLAB в його робочому просторі починаючи із версії MATLAB® R14a. Для широкого користування, зручності та високої ефективності використання можливостей Approximation\_LSM створено робочу оболонку графічного інтерфейсу користувача (GUI development environment) (рис. 1.1). Робоче вікно програми із функціональними та інформаційними елементами включає всі можливості програмного комплексу.

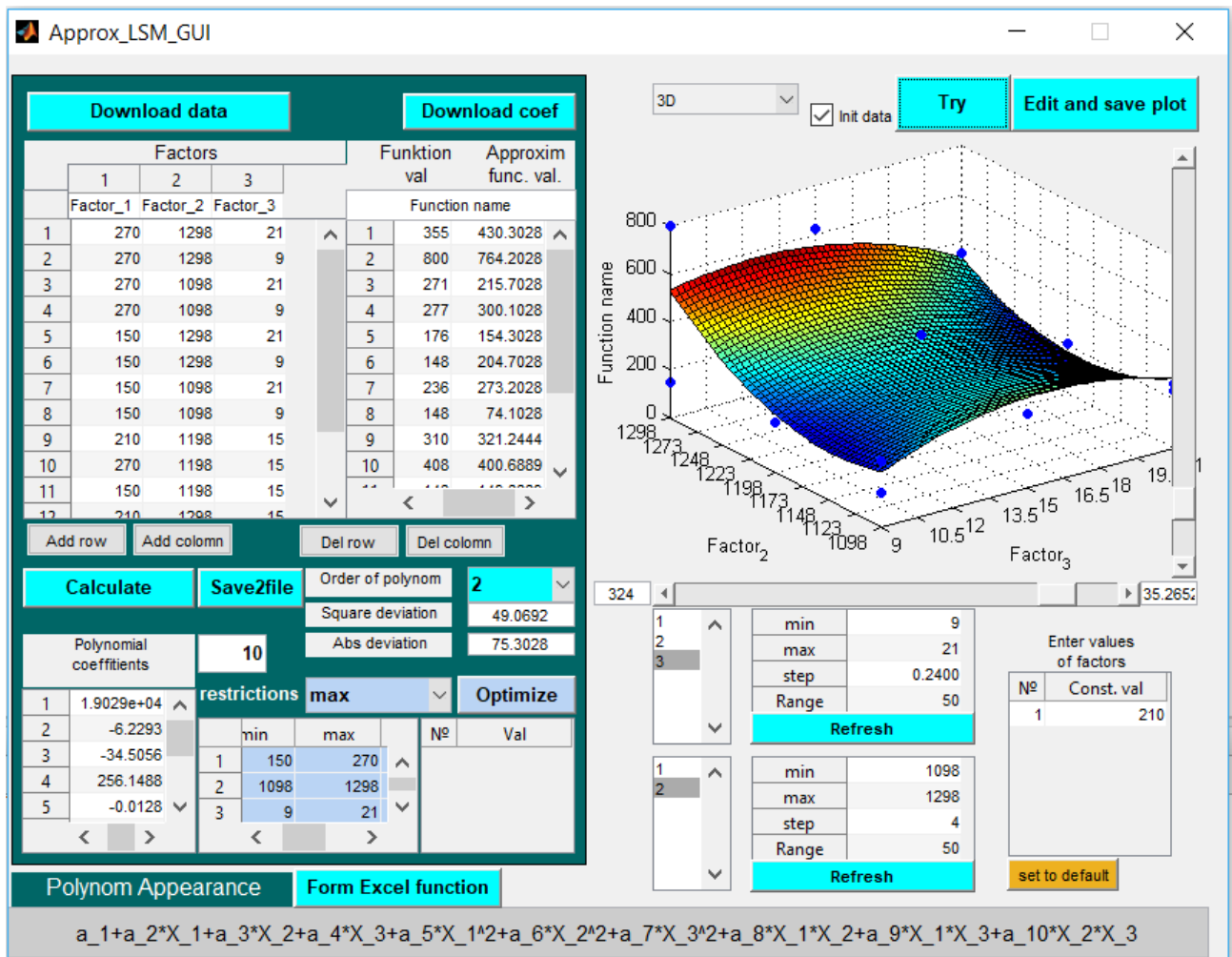


Рис. 1.1 – Графічний інтерфейс користувача програми Approximation\_LSM.

#### Короткий опис можливостей Approximation\_LSM:

1. Формування поліномів регресії ступеня  $m = 1 \dots 3$  в повному вигляді (структура поліному включає вільний член, члени головних ефектів або ефектів рівнів та ефекти взаємодії факторів із загальним порядком кожного члену поліному  $\leq m$ );
2. Розрахунок параметрів (коефіцієнтів) повного степеневого поліному;
3. Статистична обробка результатів розрахунку у вигляді визначення максимального абсолютного відхилення регресійної моделі від експериментальних даних та середньоквадратичного відхилення утвореного закону від вихідних даних (в одиницях функції відгуку);
4. Оптимізація отриманої регресійної моделі за глобальним максимумом (мінімумом) методом нелінійної оптимізації з обмеженнями за допомогою функції влаштованої бібліотеки MATLAB®.

5. Безпосереднє графічне відображення експериментальних точок та кривої розрахованої поліному на площині чи поверхню відгуку в об'ємних декартових координатах;
6. Підтримка швидкого введення та виведення розрахункових даних в текстовому форматі txt та вивід розрахованого поліному в адаптованому до формату математичних операцій Excel для незалежного використання результатів розрахунку програми.

В програмі реалізований алгоритм генерації повних степеневих поліномів 1-3 ступенів, що має такий вигляд:

$$f(x_i) = a_{(z=z_0)} + \sum_{i=1}^n a_{(z=z+1)} x_i + \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{(z=z+1)} x_i x_j \right] + \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^n a_{(z=z+1)} x_i x_j x_l \right\}$$

де  $f(x_i)$  – шукана функція відгуку;

$a$  – параметри поліному;

$z$  – порядковий номер члену поліному ( $z_0 = 1$ );

$x_i$  – незалежний фактор ( $i = 1..n$ )

$n$  – кількість незалежних факторів.

Побудова регресійного закону являється широко розповсюдженим і визнаним методом дослідження. Задачею регресійного поліному є наближене відтворення реального фізичного закону спираючись на невелику кількість експериментальних точок. Повний степеневий поліном степені  $m \geq 2$  включає залежності головних ефектів, тобто вплив на шукану функцію відгуку окремих факторів степені  $1..m$ , та ефекти взаємодії факторів при  $n \geq 2$  із загальним порядком кожного члену поліному  $\leq m$ .

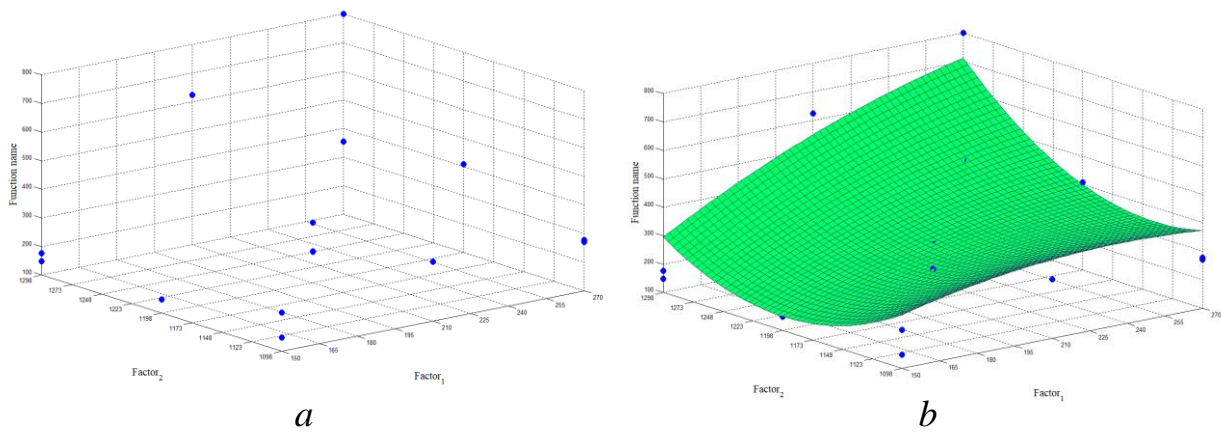


Рис. 1.1 – Визначення квадратичного поліному регресії від 3-х змінних із варіюванням факторів на трьох рівнях.

*a* – дані факторного експерименту; *b* – побудована поверхня відгуку

Повний степеневий поліном являється найбільш інформативним при дослідженні попередньо невідомої функції. На рис 1.2 зображений приклад пошуку полінома ступеня  $m = 1$  даних факторного експерименту отриманих за методом математичного планування експерименту із кількістю факторів  $n = 3$  і варіюванням на  $k = 3$  рівнях. Ускладненням застосування повних степеневих поліномів із степенями  $k \geq 2$  являється необхідність організації планів експерименту із варіюванням кожного з незалежних факторів на 3-х рівнях для  $k = 2$  і 5-ти рівнях для  $k = 3$ , що при кількості факторів  $n \geq 3$  призводить до різкого зростання числа експериментів.

Програма Approximation\_LSM задля розширення можливостей дослідника при аналізі результатів експерименту дає можливість відхилитися від зазначеного вище правила і проводити розрахунок коефіцієнтів степеневих поліномів вищого порядку при обмеженій кількості дослідних даних. В такому випадку дослідник має усвідомлювати відповідальність за використані методи.

## 2. Системні вимоги для використання програми Approximation\_LSM

### 1. Мінімальні системні вимоги для програмного пакету MATLAB® та Simulink® R14a:

- наявна на комп'ютері одна з наступних операційних систем:
  - Microsoft® Windows® (32-розрядна або 64-розрядна) (Version Windows XP x64 Edition Service Pack 2 and later);
  - Linux® (64-розрядна);
  - Mac OS® X;
- Будь-який Intel or AMD x86 процесор, з підтримкою SSE2 набору інструкцій;
- 1 Гб вільного місця на диску для установки виключно MATLAB та 3-4 Гб для звичайної установки;
- 1024 MB (Що найменше 2048 MB рекомендовано)

### 2. Установлений ліцензований пакет MATLAB® версії не раніше R14a



### 3. Опис функціональних елементів робочого простору Approximation\_LSM

Для запуску робочого простору програми Approximation\_LSM необхідно попередньо запустити MATLAB® версії не раніше R14a, відкрити в його вікні редагування (Edit) файл Approx\_LSM\_GUI.m з директорії розташування програми (/Approximation LSM) застосунками провідника MATLAB або WINDOWS, після чого запустити його функцією RUN. Після успішного запуску відкриється вікно програми як на рис. 1.1.

Вихідні дані для розрахунку (таблиці факторів та функцій) можна вводити вручну використовуючи кнопки [Add row]/[Add column]/[Del row]/[Del column] та заповнюючи відповідні таблиці. Для більшої гнучкості процесу формування вихідних даних можна завантажувати таблиці із попередньо підготовленого текстового файта в форматі .txt. Формувати такі таблиці необхідно за певними правилами, де між кожним значенням в рядку має стояти знак табуляції (Tab) а між рядками знак перенесення курсору на новий рядок (ENTER). Важливою умовою для можливості зчитування текстового файлу програмою – використання у десятичному числі в якості роздільника – крапку.

Приклади оформлення таких текстових файлів зображені на рис. 3.1. Отримані фактично визначені в результаті експерименту або попередньо визначені і використані для розрахункового експерименту заносять за допомогою текстового редактора у вигляді цілих або десятинних чисел

10[TAB] 1.2	21[ENTER]	355[ENTER]
15	1.1	9 (Розділювач - крапка!)
20	1	15
	<i>a</i>	<i>b</i>

Рис. 3.1 – Приклад оформлення .txt файла з таблицями вихідних даних факторів (*a*) та функцій (*b*)

Опис основних функціональних елементів, розташованих в робочому вікні програми в логічному порядку використання зображено на рис. 3.2. Далі наводиться короткі пояснення щодо елементів робочого простору.

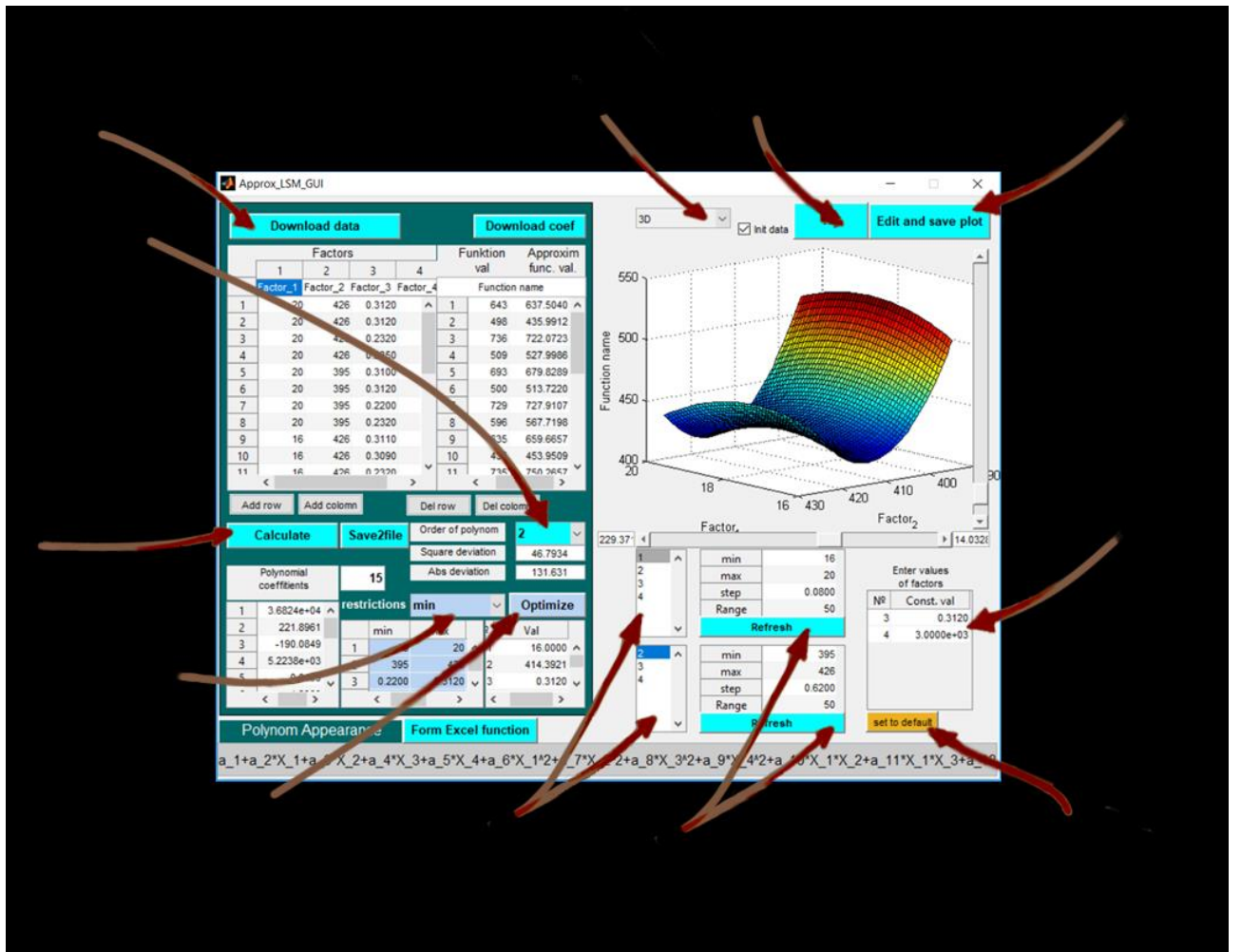


Рис. 3.2 – Основні функції програми Approximation\_LSM

Програмне вікно умовною вертикальною лінією посередині вікна ділиться на два блоки: розрахунковий (зліва) і графічний (справа) (див рис. 3.2).

4. Список функціональних елементів на робочому просторі програми розташованих за алфавітом

**2D/3D** – поле вибору розмірності координатних вісей графіку, що будується. Допустимі варіанти вибору 2D – графік на площині і 3D – просторовий графік (за наявності кількості факторів  $n \geq 2$ );

**Abs deviation** – максимальне абсолютне відхилення розрахованої функції регресії від вихідних експериментальних даних в одиницях виміру функції;

**Add column** – додавання до таблиці факторів додаткової колонки для розширення числа факторів;

**Add row** – додавання до таблиці факторів та таблиці функції додаткового рядка;

**Calculate** – провести розрахунок коефіцієнтів степеневому поліному регресії за введеними вихідними даними та обраного ступеня поліному;

**Const. val** – таблиця, що може бути відредагована користувачем, зі значеннями параметрів, що входять до функції степеневому поліному регресії та не відтворені на графіку і визначаються як постійні значення. За замовчуванням встановлюється середнє значення фактору або оптимальне при проведенні розрахунку оптимізації;

**Del column** – видалення з таблиці факторів крайню праву колонку;

**Del row** – видалення з таблиці факторів та таблиці функції нижнього рядка;

**Download coef** – зберегти в текстовий .txt файл в директорію розташування програми Approximation\_LSM список розрахованих коефіцієнтів степеневому поліному регресії.

**Download data** – завантажити текстові .txt файли з попередньо створеними таблицями вихідних даних факторів і функцій. Спершу програма запропонує обрати в провіднику файл з факторами, після цього одразу запитає файл функції в тій же директорії. Файли можуть мати довільну назву та сформовані як на рис. 3.1;

**Edit and save plot** – відкрити налаштований в графічному блоці графік функції регресії в окремому вікні редактора MATLAB® для редагування.

**Factors** – таблиця факторів, де кількість колонок відповідає кількості факторів, а строк – об’єму даних по кожному фактору (має бути однаковим для всіх факторів). Може редагуватися користувачем а також заповнюватися за допомогою команди **Download data** (верхні клітинки відтворюють назви факторів і можуть бути редаговані користувачем в форматі строкового тексту MATLAB для подальшого коректного відтворення в назвах осей аргументів графіку);

**Form Excel Function** – згенерувати розрахований поліном регресії у вигляді функції EXCEL® яка в якості невідомих аргументів посилається на клітинки A1, B1, C1... і так далі в залежності від кількості невідомих аргументів (відповідає кількості факторів для розрахунку степеневого поліному регресії);

**Function Approxim** – таблиця функцій, що відповідають результатам експериментів із відповідними значеннями факторів. Кількість елементів має відповідати об’єму даних кожного з факторів. Може редагуватися користувачем а також заповнюватися за допомогою команди **Download data** (верхня клітинка відтворює назву функції і може бути редагована користувачем в форматі строкового тексту MATLAB для подальшого коректного відтворення в назві осі функції графіку);

**Init data** – команда, що дозволяє відобразити точки, відповідні вихідним даним розрахунку, на графіку у вікні функції, а також в окремому вікні при використанні команди **Edit and save plot**;

**min max** – таблиця граничних значень факторів, що використовуються для оптимізації степеневого поліному регресії за командою **Optimize**;

**Optimize** – команда, що виконує розрахунок оптимальних значень факторів в межах заданих **min max**, що відповідають умові оптимізації степеневого поліному регресії, зазначених в **Restrictions**. Результати розрахунку оптимальних значень факторів і функції, що відповідає цим значенням факторів відображаються в таблиці знизу;

**Order of polynom** – ступінь поліному регресії, яким буде наближено описана функція, зазначена в вихідних даних **Function Approxim**. Може приймати

значення 1, 2, 3 – для повних степеневих поліномів і 4 для часткового поліному;

**Polynomial Appearance** – відтворює в текстовому вигляді форму розрахованого поліному. Доступно лише для поліномів 1-го та 2-го ступенів.

**Polynomial coefficients** – таблиця, в якій прописуються значення розрахованих коефіцієнтів поліному в певному порядку, що відтворюється в **Polynomial Appearance** для 1-го та 2-го ступенів. Для поліномів більших ступенів формула утворення степеневого поліному:

1. вільний член  $a_0$  (ступінь факторів  $n = 0$ );
2. коефіцієнти в кількості  $n \times m$  перед факторами в степені  $\leq m$ , розташованими в порядку згідно таблиці **Factors** групами для ступенів в порядку від 1 до  $m$ ;
3. коефіцієнти поєднання при  $n > 1$  і  $m > 1$  в кількості  $\sum_{i=2}^m i_n$ . Члени поєднань мають ступені  $2 \dots m$  і формуються методом перебирання факторів в порядку згідно таблиці **Factors** зберігаючи правило найменшого лівого.

Приклад поліном 3-го ступеня для 3х змінних:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_8 X_2^3 + a_9 X_3^3 + a_{12} X_1 X_2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{23} X_2 X_3 + a_{123} X_1 X_2 X_3$$

**Range** – кількість точок по осі абсцис, за якими будується графік функції знайденого степеневого поліному регресії;

**Restrictions** – вибір умови оптимізації функції степеневого поліному регресії в точці максимального чи мінімального екстремуму. Приймає значення min/max;

**Save2file** – зберегти розраховані коефіцієнти в текстовий .txt файл в поточну або обрану директорію програми. Також за цією командою можливо скопіювати значення коефіцієнтів в буфер обміну операційної системи;

**Set to default** – скинути всі налаштування користувача в графічному блоці програми до налаштувань за замовчанням (Очищує також координатні осі із видаленням графіку(iv));

- Square deviation** – середньоквадратичне відхилення розрахованої функції регресії від вихідних експериментальних даних в одиницях виміру функції;
- Step** – крок між точками визначеного фактору для побудови графіку функції знайденого степеневому поліному регресії в одиницях виміру відповідного фактору;
- Try** – відобразити налаштований в графічному блоці графік функції знайденого степеневому поліному регресії у вікні програми на координатних осях нижче (Назви осей беруться з відповідних верхньої клітинок таблиць **Factors** та **Function Approxim**);