Національний Технічний Університет України “КПІ”

Навчально-науковий комплекс

«Інститут прикладного системного аналізу»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

З дисципліни: Основи системного аналізу

Виконали:

Барзій Ілля
Лєсніков Богдан
Шрам Владислав
(Бригада 1)

група КА-41

Київ 2017

Задание

В каждом из вариантов заданы:

- исходные таблицы данных;
- размерности векторов x_1, x_2, x_3 - n_1,n_2,n_3;
- количество выборок n (для расчета);
- количество целевых функций m;
- веса целевых функций;
- метод решения несовместных систем уравнений, в которых число неизвестных не равно числу уравнений;

Наборы P1, P2, P3 – степени полинома Чебышева (Лежандра, Лагера, Эрмита и др.) для x_1, x_2, x_3 – следует подобрать самостоятельно, исходя из критерия минимума максимального отклонения функций: $10^{-6} \le \Delta^0 \le 10^{-3}$.

Требуется:

1) сформировать целевые функции и вывести на печать
   - значения всех промежуточных коэффициентов (λ, a, c) и функций (Ψ,Φ);
   - вид полученных функций $\Phi_i(x_1,x_2,x_3)$ через: 1) $\Phi_{i1}(x_1),\Phi_{i2}(x_2),\Phi_{i3}(x_3)$; 2) полиномы Чебышева;

 3) в форме обычных многочленов (целесообразно это предусмотреть в файле результатов) как в нормированном, так и в восстановленном виде;

2) построить графики исходных (по выборкам) и полученных функций;
3) оценить погрешность восстановленных функций $\Phi_i(x_1,x_2,x_3)$ по отношению к исходной заданной выборке.

4) сделать письменный отчет о выполненной работе, включив листинг программы.

Варіант 1

Размерности векторов X1, X2, X3 – n_1=2, n_2=2, n_3=3;
количество выборок для расчета = 45;
количество целевых функций m=4;
$b_{i\,q_0}$ принимаются равными нормированным значениям $Y_i[q],\ i=\overline{1,m}$;
метод решения несовместной системы уравнений: **метод сопряженных направлений.**

Метод спряженних напрямків розв’язку СЛНР

Ненульові вектори *u* и *v* спряжені (відносно А), якщо:

$$\mathbf{u}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}\mathbf{v} = 0.$$

Оскільки **A** – симетрична та додатньо визначена, визначимо внутрішній добуток:

$$\langle \mathbf{u}, \mathbf{v} \rangle_{\mathbf{A}} := \langle \mathbf{A}\mathbf{u}, \mathbf{v} \rangle = \langle \mathbf{u}, \mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{v} \rangle = \langle \mathbf{u}, \mathbf{A}\mathbf{v} \rangle = \mathbf{u}^{\mathrm{T}}\mathbf{A}\mathbf{v}.$$

Два вектора спряжені, якщо вони ортогональні за вінутрішнім добутком. Спряженість – симетрична властивість.

Нехай, $P = \{\mathbf{p}_k : \forall i \neq k, i, k \in [1, n], \langle \mathbf{p}_i, \mathbf{p}_k \rangle_A = 0\}$ - набір *n* попарно спряжених напрямків. Тоді P - базис в $\mathbb{R}^n$, так можемо визначити розв’язок $\mathbf{x}_*$ з $\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}$:

$$\mathbf{x}_* = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \mathbf{p}_i$$

Видно, що:

$$\mathbf{b} = \mathbf{A}\mathbf{x}_* = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \mathbf{A}\mathbf{p}_i.$$

Для будь-якого $\mathbf{p}_k \in P$,

$$\mathbf{p}_k^{\mathrm{T}}\mathbf{b} = \mathbf{p}_k^{\mathrm{T}}\mathbf{A}\mathbf{x}_* = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \mathbf{p}_k^{\mathrm{T}}\mathbf{A}\mathbf{p}_i = \alpha_k \mathbf{p}_k^{\mathrm{T}}\mathbf{A}\mathbf{p}_k.$$

(так як $\forall i \neq k, p_i, p_k$ попарно спряжені)

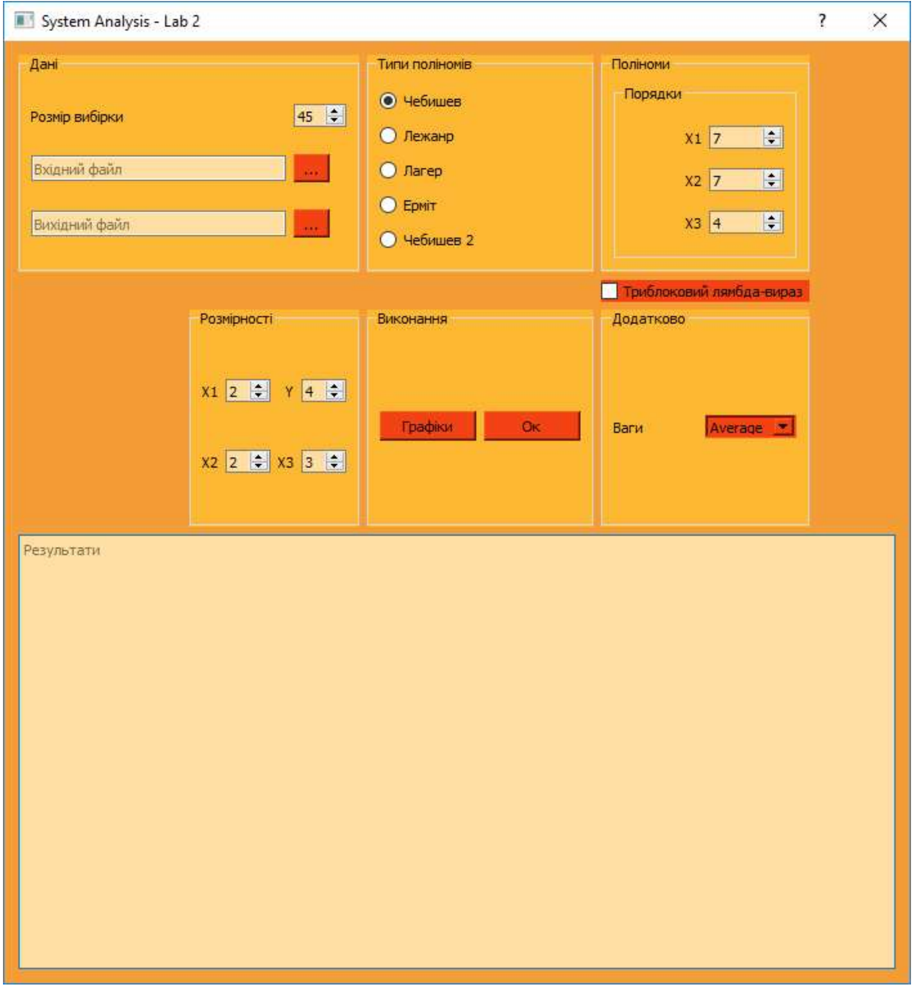
$$\alpha_k = \frac{\mathbf{p}_k^{\mathrm{T}}\mathbf{b}}{\mathbf{p}_k^{\mathrm{T}}\mathbf{A}\mathbf{p}_k} = \frac{\langle \mathbf{p}_k, \mathbf{b} \rangle}{\langle \mathbf{p}_k, \mathbf{p}_k \rangle_{\mathbf{A}}} = \frac{\langle \mathbf{p}_k, \mathbf{b} \rangle}{\|\mathbf{p}_k\|_{\mathbf{A}}^2}.$$

Це дає спосіб розв’язання рівняння **Ax** = **b**: знайти множину з *n* спряжених напрямків а потім вырахуівти α_k.

Ми бачимо, що матриця А для даного методу повинна бути симетрична та додатньовизначена. Щоб застосувати цей метод (у нашому випадку наша матриця А зовсім не є симетричною), домножимо рівняння **Ax** = **b** зліва і справа на A^T : $\mathbf{A^T}$ $\mathbf{Ax}$ = $\mathbf{A^T}$ $\mathbf{b}$. Тепер матриця $\mathbf{A^T}$ $\mathbf{A}$ є симетричною і додатньовизначеною.

Інтерфейс користувача

Інтерфейс після запуску програми. Інтерфейс для задання бажаного методу при виконанні, завантаження файлу тощо.



System Analysis - Lab 2

Дані

Розмір вибірки 45

Вхідний файл ...

Вихідний файл ...

Типи поліномів

● Чебишев
○ Лежанр
○ Лагер
○ Ерміт
○ Чебишев 2

Поліноми

Порядки

X1 7

X2 7

X3 4

□ Триблоковий лямбда-вираз

Розмірності

X1 2 Y 4

X2 2 X3 3

Виконання

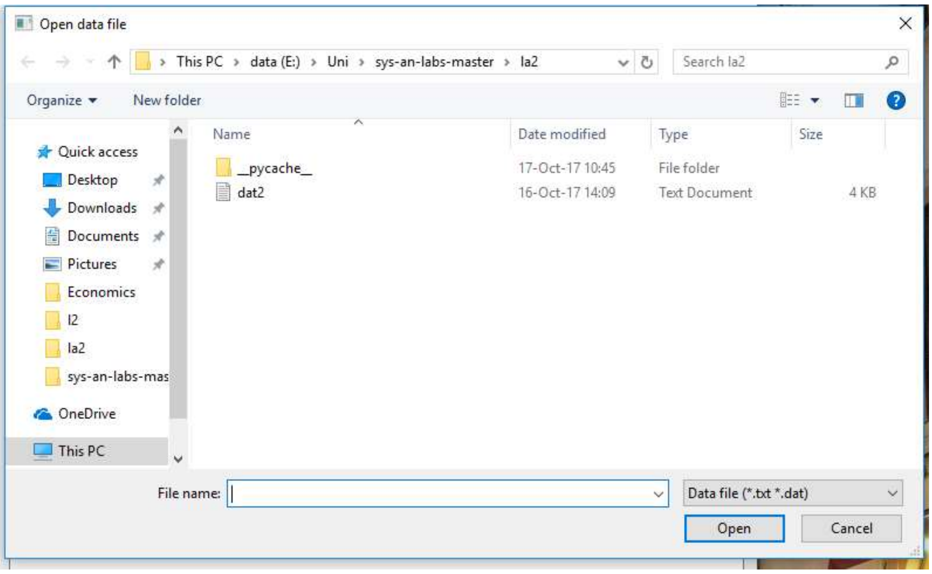
Графіки Ок

Додатково

Ваги Average

Результати

Вікон вибору файлу з вхіднимиданими та данними на вихід.



Open data file

This PC > data (E:) > Uni > sys-an-labs-master > la2

Search la2

Organize ▾ New folder

Quick access
Desktop
Downloads
Documents
Pictures
Economics
l2
la2
sys-an-labs-mas
OneDrive
This PC

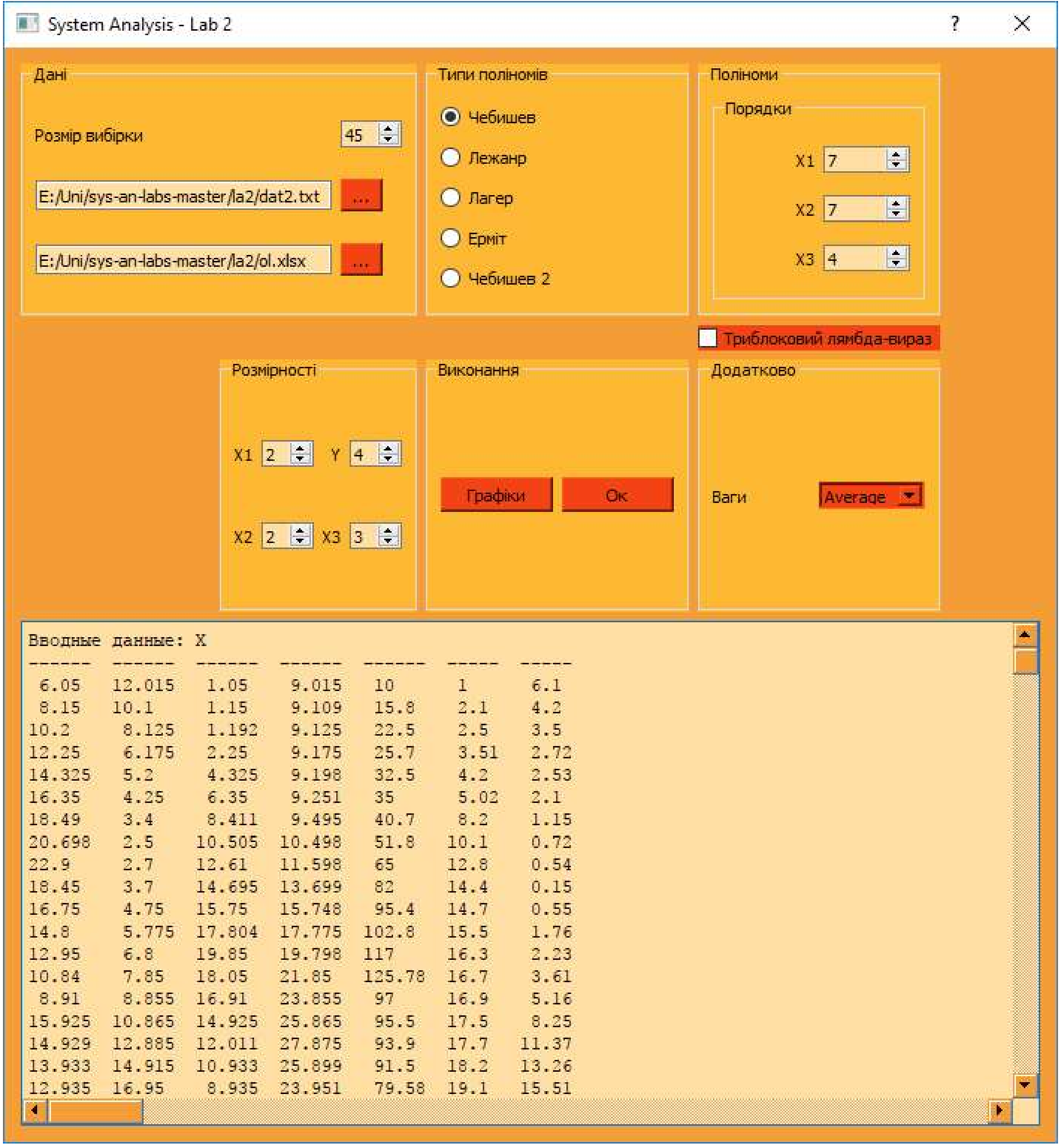
Name	Date modified	Type	Size
pycache	17-Oct-17 10:45	File folder	
dat2	16-Oct-17 14:09	Text Document	4 KB

File name:

Data file (*.txt *.dat)

Open Cancel

Інтервфейс після завантаження даних та виконання програми.



Розмір вибірки 45

E:/Uni/sys-an-labs-master/la2/dat2.txt

E:/Uni/sys-an-labs-master/la2/ol.xlsx

● Чебишев
○ Лежанр
○ Лагер
○ Ерміт
○ Чебишев 2

X1 7
X2 7
X3 4

□ Триблоковий лямбда-вираз

X1 2 Y 4
X2 2 X3 3

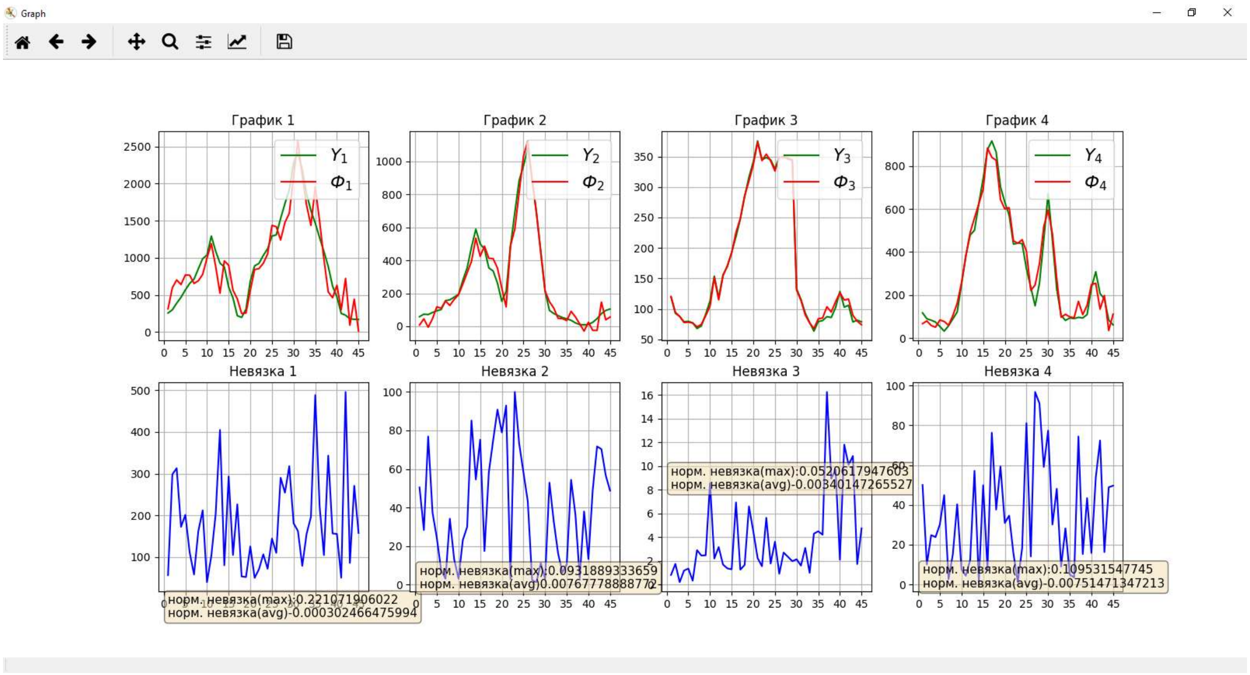
Ваги Average

```
Вводные данные: X
------  ------  ------  ------  ------  -----  -----
 6.05   12.015   1.05    9.015   10       1     6.1
 8.15   10.1     1.15    9.109   15.8     2.1   4.2
10.2     8.125   1.192   9.125   22.5     2.5   3.5
12.25    6.175   2.25    9.175   25.7     3.51  2.72
14.325   5.2     4.325   9.198   32.5     4.2   2.53
16.35    4.25    6.35    9.251   35       5.02  2.1
18.49    3.4     8.411   9.495   40.7     8.2   1.15
20.698   2.5    10.505  10.498   51.8    10.1   0.72
22.9     2.7    12.61   11.598   65      12.8   0.54
18.45    3.7    14.695  13.699   82      14.4   0.15
16.75    4.75   15.75   15.748   95.4    14.7   0.55
14.8     5.775  17.804  17.775  102.8    15.5   1.76
12.95    6.8    19.85   19.798  117      16.3   2.23
10.84    7.85   18.05   21.85   125.78   16.7   3.61
 8.91    8.855  16.91   23.855   97      16.9   5.16
15.925  10.865  14.925  25.865   95.5    17.5   8.25
14.929  12.885  12.011  27.875   93.9    17.7  11.37
13.933  14.915  10.933  25.899   91.5    18.2  13.26
12.935  16.95    8.935  23.951   79.58   19.1  15.51
```

У поле виводу записаний результат роботи прорами. А також результат виведений до електронної табилці Excel.

У вікні початкових параметрів можна обрати порядок для кожної із змінних X_i, розмірність вибірки, розмірність змінних.

При натисканні відповідної кнопки виводиться вікно з графіками: функцій, їх знайдених апрокимацій та нев'язки: (виведений приклад роботи за умов використанная зміщених поліномів Чебишева першого порядку)



норм. невязка(max):0.221071906022
норм. невязка(avg)-0.000302466475994

норм. невязка(max):0.0931889333659
норм. невязка(avg)0.00767778888772

норм. невязка(max):0.0520617947603
норм. невязка(avg)-0.00340147265527

норм. невязка(max):0.109531547745
норм. невязка(avg)-0.00751471347213

У виведеному вікні є можливість збереження графіків, їх збільшення тощо.

Розглянемо результати апроксимації нашої функції. Було взято апроксимацію многочленом Чебишева з параметрами для відповідних X_i 8 9 10

Стандартний вигляд таблиць:

```
Вводные данные: X
------  ------  ------  ------  ------  -----  -----
 6.05   12.015   1.05    9.015   10      1      6.1
 8.15   10.1     1.15    9.109   15.8    2.1    4.2
10.2     8.125   1.192   9.125   22.5    2.5    3.5
12.25    6.175   2.25    9.175   25.7    3.51   2.72
14.325   5.2     4.325   9.198   32.5    4.2    2.53
16.35    4.25    6.35    9.251   35      5.02   2.1
18.49    3.4     8.411   9.495   40.7    8.2    1.15
20.698   2.5    10.505  10.498   51.8   10.1    0.72
22.9     2.7    12.61   11.598   65     12.8    0.54
18.45    3.7    14.695  13.699   82     14.4    0.15
16.75    4.75   15.75   15.748   95.4   14.7    0.55
14.8     5.775  17.804  17.775  102.8   15.5    1.76
12.95    6.8    19.85   19.798  117     16.3    2.23
10.84    7.85   18.05   21.85   125.78  16.7    3.61
 8.91    8.855  16.91   23.855   97     16.9    5.16
15.925  10.865  14.925  25.865   95.5   17.5    8.25
14.929  12.885  12.011  27.875   93.9   17.7   11.37
13.933  14.915  10.933  25.899   91.5   18.2   13.26
12.935  16.95    8.935  23.951   79.58  19.1   15.51
11.95   18.975   6.95   21.975   55.4   19.5   17.74
10.81   20.995   4.95   19.015   31.5   21     13.14
 8.75   22.975   2.108  17.975   12.5   23.56  11.35
 6.15   19.95    1.251  15.95    10.8   25.3    8.58
 5.2    18.9     3.204  13.915    8.5   28.7    6.74
 4.45   17.875   5.248  11.875    4.4   31.56   4.85
 7.325  15.865   8.325   9.865    2.5   27.1    6.21
 8.35   13.855  11.351   7.855    5.3   24.7    9.52
 9.4    11.85   15.408   5.85     8.7   26.2   10.75
10.5     9.775  17.495   3.775   11.2   23.7    8.1
12.6     7.75   15.607   1.75    14.7   20.36   6.1
```

```
14.7     5.71   13.697   3.697   17.8   17.7    4.15
16.75    3.603  11.75    5.605   20.1   13.34   2.36
18.8     2.495   9.798   7.495   40.52  11.72   1.35
19.85    4.394   7.85    9.415   65.2    9.9    2.13
17.907   6.245   5.913  11.255   80.76   7.74   4.57
15.91    8.192   3.91   13.205   91.1    6.36   6.75
13.925  10.175   2.925  11.175  109.5    5.7    9.26
11.929  12.125   1.929   9.125  122.9    4.75  11.79
 9.01   14.105   3.933   7.091  108.3    3.65  13.12
 7.935  12.01    5.935   5.985   84.5    3.52  15.36
 5.95   10.11    7.95    3.115   58.6    2.72  12.85
 5.02    8.115   9.995   1.115   35.8    2.34  10.34
 4.05    6.128  11.95    2.12    15.26   2.16   8.68
 5.935   4.131  13.935   4.13     9.52   1.76   5.32
 6.925   2.135  15.925   6.135    4.8    1.48   2.16
------  ------  ------  ------  ------  -----  -----

Вводные данные: Y
--------  --------  -------  -------
 254.621    58.145  119.406  117.683
 298.163    73.368   92.651   90.123
 387.411    71.084   87.691   83.576
 467.197    83.567   78.793   74.789
 566.547    93.813   79.497   54.316
 653.789   101.378   77.082   32.817
 710.926   155.579   67.758   57.425
 851.381   160.432   71.956   89.519
 987.364   176.283   91.123  121.374
1036.12    193.657  112.859  249.173
1292.34    278.624  153.717  384.136
1088.32    354.324  117.965  479.152
 926.939   478.926  155.912  501.239
 877.128   588.675  169.359  625.482
 605.327   499.367  192.924  740.976
 458.386   468.567  218.549  875.846
 218.859   353.932  247.354  916.124
 195.737   335.124  284.167  863.928
 306.168   261.946  316.375  703.153
 685.761   151.387  341.326  631.195
 890.639   210.519  375.651  571.588
 923.784   485.142  344.856  436.847
1031.44    688.125  348.314  441.842
1121.32    883.435  344.716  439.425
1291.85    972.834  329.942  322.147
1308.61   1080.56   349.316  235.954
1529.96    887.987  348.231  150.492
1730.13    688.951  347.987  254.897
1917.15    455.494  342.967  458.289
2278.65    211.209  132.856  672.164
2412.14     96.197  115.632  453.356
2186.24     77.325   93.135  227.168
1862.35     64.615   77.824  106.123
1632.88     52.534   63.453   82.659
1467.16     45.178   79.167   93.834
1270.53     36.176   80.836   91.345
1084.24     20.364   87.192   96.841
 881.956    10.428   85.834   93.952
 616.829     8.475  101.985  109.463
 473.329    10.924  128.591  233.415
 249.421    24.183  102.861  308.613
 225.356    46.324  105.817  207.319
 176.578    76.457   78.473  182.263
 170.948    95.814   81.417   84.132
 168.334   104.549   78.653   61.953
--------  --------  -------  -------
```

Y1-4

Нормализованная невязка(max) (Y - Ф)

```
--------  ---------  ---------  --------
0.221072  0.0931889  0.0520618  0.109532
--------  ---------  ---------  --------
```

Нормализованная невязка(avg) (Y - Ф)

```
------------  ----------  -----------  -----------
-0.000302466  0.00767779  -0.00340147  -0.00751471
------------  ----------  -----------  -----------
```

Невязка(max) (Y_ - Ф_))

```
-------  -------  -------  -----
496.044  99.9066  16.2536  96.75
-------  -------  -------  -----
```

Невязка(avg) (Y_ - Ф_))

```
---------  -------  --------  -------
-0.678678  8.23126  -1.06193  -6.6378
---------  -------  --------  -------
```

(Psi11)[1]=0.024984*T0(x11) + 0.071399*T1(x11) + -0.102491*T2(x11) + -0.063426*T3(x11) + 0.017830*T4(x11) + -0.047989*T5(x11) + 0.115281*T6(x11) + -0.020163*T7(x11) + 0.076135*T8(x11)

(Psi12)[1]=0.024984*T0(x12) + -0.016306*T1(x12) + -0.052224*T2(x12) + 0.018404*T3(x12) + -0.046023*T4(x12) + -0.071517*T5(x12) + 0.025037*T6(x12) + -0.031791*T7(x12) + -0.040087*T8(x12)

(Psi21)[1]=0.024984*T0(x21) + -0.029453*T1(x21) + -0.111641*T2(x21) + 0.047239*T3(x21) + 0.059290*T4(x21) + -0.072684*T5(x21) + -0.002097*T6(x21) + 0.013452*T7(x21) + -0.020132*T8(x21) + -0.056543*T9(x21)

(Psi22)[1]=0.024984*T0(x22) + -0.260993*T1(x22) + -0.065959*T2(x22) + 0.070835*T3(x22) + 0.082398*T4(x22) + 0.052606*T5(x22) + -0.060877*T6(x22) + -0.126314*T7(x22) + 0.083884*T8(x22) + -0.027180*T9(x22)

(Psi31)[1]=0.024984*T0(x31) + 0.015578*T1(x31) + 0.139685*T2(x31) + 0.012091*T3(x31) + -0.007447*T4(x31) + -0.013370*T5(x31) + -0.084279*T6(x31) + 0.022364*T7(x31) + -0.011321*T8(x31) + -0.003572*T9(x31) + -0.042344*T10(x31)

(Psi32)[1]=0.024984*T0(x32) + 0.179880*T1(x32) + -0.217257*T2(x32) + 0.075561*T3(x32) + 0.018224*T4(x32) + -0.000150*T5(x32) + -0.016114*T6(x32) + -0.065379*T7(x32) + -0.019076*T8(x32) + -0.097792*T9(x32) + 0.104180*T10(x32)

(Psi33)[1]=0.024984*T0(x33) + -0.034146*T1(x33) + -0.116045*T2(x33) + 0.123045*T3(x33) + 0.000185*T4(x33) + 0.012658*T5(x33) + 0.041184*T6(x33) + -0.049333*T7(x33) + -0.012243*T8(x33) + 0.034756*T9(x33) + -0.011948*T10(x33)

(Psi11)[2]=0.033838*T0(x11) + -0.054204*T1(x11) + 0.018769*T2(x11) + 0.058173*T3(x11) + -0.061085*T4(x11) + 0.022813*T5(x11) + -0.038946*T6(x11) + 0.034572*T7(x11) + -0.054513*T8(x11)

(Psi12)[2]=0.033838*T0(x12) + 0.055062*T1(x12) + -0.062931*T2(x12) + -0.006520*T3(x12) + 0.011973*T4(x12) + 0.048745*T5(x12) + 0.029748*T6(x12) + 0.042422*T7(x12) + 0.001750*T8(x12)

(Psi21)[2]=0.033838*T0(x21) + 0.073653*T1(x21) + -0.010265*T2(x21) + 0.025921*T3(x21) + -0.032050*T4(x21) + 0.065490*T5(x21) + -0.001785*T6(x21) + 0.002362*T7(x21) + 0.030985*T8(x21) + 0.041385*T9(x21)

(Psi22)[2]=0.033838*T0(x22) + 0.066063*T1(x22) + -0.002839*T2(x22) + 0.002127*T3(x22) + 0.020006*T4(x22) + 0.001011*T5(x22) + -0.005904*T6(x22) + 0.018860*T7(x22) + -0.083711*T8(x22) + 0.050485*T9(x22)

(Psi31)[2]=0.033838*T0(x31) + -0.093145*T1(x31) + 0.038071*T2(x31) + -0.015143*T3(x31) + 0.067287*T4(x31) + -0.001958*T5(x31) + 0.038443*T6(x31) + 0.018167*T7(x31) + -0.000732*T8(x31) + -0.001335*T9(x31) + 0.000924*T10(x31)

(Psi32)[2]=0.033838*T0(x32) + 0.179295*T1(x32) + -0.048604*T2(x32) + -0.021530*T3(x32) + -0.035578*T4(x32) + -0.023380*T5(x32) + 0.003626*T6(x32) + 0.085141*T7(x32) + 0.114418*T8(x32) + 0.075475*T9(x32) + -0.020217*T10(x32)

(Psi33)[2]=0.033838*T0(x33) + -0.044868*T1(x33) + 0.009405*T2(x33) + -0.005623*T3(x33) + -0.012978*T4(x33) + -0.035087*T5(x33) + -0.046109*T6(x33) + -0.002074*T7(x33) + 0.021424*T8(x33) + -0.004665*T9(x33) + -0.013785*T10(x33)

(Psi11)[3]=0.047916*T0(x11) + -0.004156*T1(x11) + -0.038284*T2(x11) + 0.054103*T3(x11) + 0.066806*T4(x11) + -0.043225*T5(x11) + 0.001020*T6(x11) + -0.028150*T7(x11) + -0.034936*T8(x11)

(Psi12)[3]=0.047916*T0(x12) + 0.110147*T1(x12) + -0.037295*T2(x12) + -0.070732*T3(x12) + -0.012143*T4(x12) + 0.035525*T5(x12) + -0.016671*T6(x12) + 0.027845*T7(x12) + 0.038076*T8(x12)

(Psi21)[3]=0.047916*T0(x21) + -0.001084*T1(x21) + -0.021877*T2(x21) + 0.066965*T3(x21) + 0.004833*T4(x21) + -0.046840*T5(x21) + 0.000160*T6(x21) + 0.060373*T7(x21) + 0.026384*T8(x21) + 0.000512*T9(x21)

(Psi22)[3]=0.047916*T0(x22) + 0.131596*T1(x22) + -0.044491*T2(x22) + -0.005684*T3(x22) + 0.008733*T4(x22) + 0.026920*T5(x22) + -0.014462*T6(x22) + 0.028110*T7(x22) + 0.007460*T8(x22) + -0.064278*T9(x22)

(Psi31)[3]=0.047916*T0(x31) + -0.116178*T1(x31) + -0.004211*T2(x31) + -0.033831*T3(x31) + 0.005626*T4(x31) + 0.019475*T5(x31) + 0.025375*T6(x31) + -0.009423*T7(x31) + -0.057764*T8(x31) + 0.018799*T9(x31) + -0.007465*T10(x31)

(Psi32)[3]=0.047916*T0(x32) + 0.159739*T1(x32) + -0.058008*T2(x32) + -0.155638*T3(x32) + 0.010345*T4(x32) + -0.027894*T5(x32) + 0.020552*T6(x32) + 0.075547*T7(x32) + 0.001405*T8(x32) + 0.022104*T9(x32) + 0.042266*T10(x32)

(Psi33)[3]=0.047916*T0(x33) + 0.016814*T1(x33) + -0.074451*T2(x33) + 0.002153*T3(x33) + 0.038692*T4(x33) + 0.017596*T5(x33) + -0.009040*T6(x33) + -0.007470*T7(x33) + -0.006000*T8(x33) + -0.012884*T9(x33) + -0.042207*T10(x33)

(Psi11)[4]=0.047442*T0(x11) + -0.025495*T1(x11) + -0.003148*T2(x11) + 0.033626*T3(x11) + -0.026815*T4(x11) + 0.043067*T5(x11) + -0.055965*T6(x11) + 0.079858*T7(x11) + -0.011498*T8(x11)

(Psi12)[4]=0.047442*T0(x12) + 0.052262*T1(x12) + -0.017697*T2(x12) + 0.006497*T3(x12) + 0.035450*T4(x12) + 0.021463*T5(x12) + 0.025336*T6(x12) + 0.069224*T7(x12) + 0.039696*T8(x12)

(Psi21)[4]=0.047442*T0(x21) + 0.049482*T1(x21) + -0.012631*T2(x21) + -0.005431*T3(x21) + -0.039187*T4(x21) + 0.017137*T5(x21) + 0.033944*T6(x21) + 0.010440*T7(x21) + 0.031236*T8(x21) + 0.060153*T9(x21)

(Psi22)[4]=0.047442*T0(x22) + 0.106098*T1(x22) + 0.108677*T2(x22) + -0.028434*T3(x22) + 0.002009*T4(x22) + 0.008805*T5(x22) + -0.007706*T6(x22) + 0.012705*T7(x22) + -0.014109*T8(x22) + 0.065260*T9(x22)

(Psi31)[4]=0.047442*T0(x31) + -0.015487*T1(x31) + -0.041199*T2(x31) + -0.021300*T3(x31) + -0.003298*T4(x31) + 0.030494*T5(x31) + 0.051906*T6(x31) + 0.005058*T7(x31) + 0.025666*T8(x31) + -0.038345*T9(x31) + 0.040987*T10(x31)

(Psi32)[4]=0.047442*T0(x32) + 0.100475*T1(x32) + -0.092765*T2(x32) + -0.031762*T3(x32) + 0.051298*T4(x32) + 0.016346*T5(x32) + -0.019403*T6(x32) + -0.021990*T7(x32) + 0.045598*T8(x32) + 0.077126*T9(x32) + 0.024733*T10(x32)

(Psi33)[4]=0.047442*T0(x33) + 0.000269*T1(x33) + -0.023081*T2(x33) + -0.022661*T3(x33) + -0.014478*T4(x33) + 0.009518*T5(x33) + -0.014596*T6(x33) + 0.002609*T7(x33) + 0.016188*T8(x33) + -0.029088*T9(x33) + -0.034131*T10(x33)

(Phi1)[1]=0.033665*T0(x11) + 0.096206*T1(x11) + -0.138101*T2(x11) + -0.085463*T3(x11) + 0.024025*T4(x11) + -0.064663*T5(x11) + 0.155335*T6(x11) + -0.027169*T7(x11) + 0.102588*T8(x11) + 0.034739*T0(x12) + -

0.022673*T1(x12) + -0.072614*T2(x12) + 0.025589*T3(x12) + -0.063992*T4(x12) + -0.099440*T5(x12) + 0.034812*T6(x12) + -0.044204*T7(x12) + -0.055739*T8(x12)

(Phi2)[1]=0.019644*T0(x21) + -0.023158*T1(x21) + -0.087779*T2(x21) + 0.037142*T3(x21) + 0.046618*T4(x21) + -0.057149*T5(x21) + -0.001649*T6(x21) + 0.010577*T7(x21) + -0.015829*T8(x21) + -0.044458*T9(x21) + 0.022260*T0(x22) + -0.232535*T1(x22) + -0.058767*T2(x22) + 0.063111*T3(x22) + 0.073413*T4(x22) + 0.046870*T5(x22) + -0.054239*T6(x22) + -0.112541*T7(x22) + 0.074737*T8(x22) + -0.024217*T9(x22)

(Phi3)[1]=0.005049*T0(x31) + 0.003148*T1(x31) + 0.028229*T2(x31) + 0.002443*T3(x31) + -0.001505*T4(x31) + -0.002702*T5(x31) + -0.017032*T6(x31) + 0.004520*T7(x31) + -0.002288*T8(x31) + -0.000722*T9(x31) + -0.008557*T10(x31) + 0.024729*T0(x32) + 0.178044*T1(x32) + -0.215039*T2(x32) + 0.074789*T3(x32) + 0.018038*T4(x32) + -0.000149*T5(x32) + -0.015950*T6(x32) + -0.064712*T7(x32) + -0.018882*T8(x32) + -0.096794*T9(x32) + 0.103117*T10(x32) + 0.042304*T0(x33) + -0.057818*T1(x33) + -0.196492*T2(x33) + 0.208345*T3(x33) + 0.000313*T4(x33) + 0.021433*T5(x33) + 0.069734*T6(x33) + -0.083533*T7(x33) + -0.020731*T8(x33) + 0.058850*T9(x33) + -0.020231*T10(x33)

(Phi1)[2]=0.022715*T0(x11) + -0.036387*T1(x11) + 0.012600*T2(x11) + 0.039051*T3(x11) + -0.041006*T4(x11) + 0.015314*T5(x11) + -0.026144*T6(x11) + 0.023208*T7(x11) + -0.036594*T8(x11) + 0.092415*T0(x12) + 0.150381*T1(x12) + -0.171871*T2(x12) + -0.017807*T3(x12) + 0.032700*T4(x12) + 0.133129*T5(x12) + 0.081245*T6(x12) + 0.115858*T7(x12) + 0.004780*T8(x12)

(Phi2)[2]=0.049914*T0(x21) + 0.108646*T1(x21) + -0.015141*T2(x21) + 0.038236*T3(x21) + -0.047278*T4(x21) + 0.096606*T5(x21) + -0.002633*T6(x21) + 0.003484*T7(x21) + 0.045706*T8(x21) + 0.061048*T9(x21) + 0.040405*T0(x22) + 0.078886*T1(x22) + -0.003390*T2(x22) + 0.002540*T3(x22) + 0.023889*T4(x22) + 0.001207*T5(x22) + -0.007050*T6(x22) + 0.022521*T7(x22) + -0.099959*T8(x22) + 0.060284*T9(x22)

(Phi3)[2]=0.060329*T0(x31) + -0.166069*T1(x31) + 0.067877*T2(x31) + -0.026999*T3(x31) + 0.119967*T4(x31) + -0.003491*T5(x31) + 0.068540*T6(x31) + 0.032390*T7(x31) + -0.001305*T8(x31) + -0.002381*T9(x31) + 0.001648*T10(x31) + 0.042080*T0(x32) + 0.222969*T1(x32) + -0.060443*T2(x32) + -0.026775*T3(x32) + -0.044244*T4(x32) + -0.029075*T5(x32) + 0.004510*T6(x32) + 0.105880*T7(x32) + 0.142288*T8(x32) + 0.093860*T9(x32) + -0.025141*T10(x32) + 0.039087*T0(x33) + -0.051829*T1(x33) + 0.010864*T2(x33) + -0.006495*T3(x33) + -0.014991*T4(x33) + -0.040530*T5(x33) + -0.053262*T6(x33) + -0.002396*T7(x33) + 0.024747*T8(x33) + -0.005389*T9(x33) + -0.015924*T10(x33)

(Phi1)[3]=0.113414*T0(x11) + -0.009836*T1(x11) + -0.090615*T2(x11) + 0.128060*T3(x11) + 0.158126*T4(x11) + -0.102312*T5(x11) + 0.002414*T6(x11) + -0.066629*T7(x11) + -0.082692*T8(x11) + 0.120595*T0(x12) + 0.277223*T1(x12) + -0.093865*T2(x12) + -0.178020*T3(x12) + -0.030561*T4(x12) + 0.089410*T5(x12) + -0.041957*T6(x12) + 0.070081*T7(x12) + 0.095830*T8(x12)

(Phi2)[3]=0.091901*T0(x21) + -0.002079*T1(x21) + -0.041959*T2(x21) + 0.128437*T3(x21) + 0.009270*T4(x21) + -0.089839*T5(x21) + 0.000308*T6(x21) + 0.115794*T7(x21) + 0.050605*T8(x21) + 0.000982*T9(x21) + 0.085621*T0(x22) + 0.235150*T1(x22) + -0.079502*T2(x22) + -0.010156*T3(x22) + 0.015605*T4(x22) + 0.048103*T5(x22) + -0.025842*T6(x22) + 0.050229*T7(x22) + 0.013331*T8(x22) + -0.114859*T9(x22)

(Phi3)[3]=0.063776*T0(x31) + -0.154634*T1(x31) + -0.005605*T2(x31) + -0.045030*T3(x31) + 0.007489*T4(x31) + 0.025921*T5(x31) + 0.033775*T6(x31) + -0.012542*T7(x31) + -0.076884*T8(x31) + 0.025021*T9(x31) + -0.009937*T10(x31) + 0.066218*T0(x32) + 0.220757*T1(x32) + -0.080167*T2(x32) + -0.215089*T3(x32) + 0.014296*T4(x32) + -0.038549*T5(x32) + 0.028403*T6(x32) + 0.104404*T7(x32) + 0.001942*T8(x32) + 0.030548*T9(x32) + 0.058411*T10(x32) + 0.082667*T0(x33) + 0.029009*T1(x33) + -0.128448*T2(x33) + 0.003714*T3(x33) + 0.066754*T4(x33) + 0.030357*T5(x33) + -0.015596*T6(x33) + -0.012887*T7(x33) + -0.010352*T8(x33) + -0.022228*T9(x33) + -0.072818*T10(x33)

(Phi1)[4]=0.054363*T0(x11) + -0.029214*T1(x11) + -0.003607*T2(x11) + 0.038531*T3(x11) + -0.030727*T4(x11) + 0.049350*T5(x11) + -0.064130*T6(x11) + 0.091508*T7(x11) + -0.013175*T8(x11) + 0.104647*T0(x12) + 0.115278*T1(x12) + -0.039036*T2(x12) + 0.014330*T3(x12) + 0.078196*T4(x12) + 0.047344*T5(x12) + 0.055886*T6(x12) + 0.152693*T7(x12) + 0.087560*T8(x12)

(Phi2)[4]=0.141879*T0(x21) + 0.147981*T1(x21) + -0.037775*T2(x21) + -0.016242*T3(x21) + -0.117191*T4(x21) + 0.051249*T5(x21) + 0.101511*T6(x21) + 0.031223*T7(x21) + 0.093414*T8(x21) + 0.179892*T9(x21) + 0.078783*T0(x22) + 0.176188*T1(x22) + 0.180471*T2(x22) + -0.047218*T3(x22) + 0.003335*T4(x22) + 0.014621*T5(x22) + -0.012796*T6(x22) + 0.021098*T7(x22) + -0.023430*T8(x22) + 0.108372*T9(x22)

(Phi3)[4]=0.044625*T0(x31) + -0.014568*T1(x31) + -0.038753*T2(x31) + -0.020036*T3(x31) + -0.003102*T4(x31) + 0.028684*T5(x31) + 0.048825*T6(x31) + 0.004758*T7(x31) + 0.024142*T8(x31) + -0.036068*T9(x31) + 0.038553*T10(x31) + 0.082619*T0(x32) + 0.174975*T1(x32) + -0.161548*T2(x32) + -0.055312*T3(x32) + 0.089334*T4(x32) + 0.028466*T5(x32) + -0.033791*T6(x32) + -0.038295*T7(x32) + 0.079407*T8(x32) + 0.134314*T9(x32) + 0.043073*T10(x32) + 0.103617*T0(x33) + 0.000588*T1(x33) + -0.050411*T2(x33) + -0.049494*T3(x33) + -0.031621*T4(x33) + 0.020788*T5(x33) + -0.031880*T6(x33) + 0.005699*T7(x33) + 0.035357*T8(x33) + -0.063531*T9(x33) + -0.074544*T10(x33)

(F1)=0.017790*T0(x11) + 0.050841*T1(x11) + -0.072981*T2(x11) + -0.045164*T3(x11) + 0.012696*T4(x11) + -0.034172*T5(x11) + 0.082088*T6(x11) + -0.014358*T7(x11) + 0.054214*T8(x11) + 0.018358*T0(x12) + -0.011982*T1(x12) + -0.038373*T2(x12) + 0.013523*T3(x12) + -0.033817*T4(x12) + -0.052550*T5(x12) + 0.018397*T6(x12) + -0.023360*T7(x12) + -0.029456*T8(x12) + 0.021818*T0(x21) + -0.025721*T1(x21) + -0.097492*T2(x21) + 0.041252*T3(x21) + 0.051776*T4(x21) + -0.063473*T5(x21) + -0.001832*T6(x21) + 0.011748*T7(x21) + -0.017581*T8(x21) + -0.049377*T9(x21) + 0.024723*T0(x22) + -0.258266*T1(x22) + -0.065269*T2(x22) + 0.070095*T3(x22) + 0.081537*T4(x22) + 0.052057*T5(x22) + -0.060241*T6(x22) + -0.124994*T7(x22) + 0.083007*T8(x22) + -0.026896*T9(x22) + 0.004522*T0(x31) + 0.002820*T1(x31) + 0.025283*T2(x31) + 0.002188*T3(x31) + -0.001348*T4(x31) + -0.002420*T5(x31) + -0.015255*T6(x31) + 0.004048*T7(x31) + -0.002049*T8(x31) + -0.000647*T9(x31) + -0.007664*T10(x31) + 0.022149*T0(x32) + 0.159467*T1(x32) + -0.192602*T2(x32) + 0.066986*T3(x32) + 0.016156*T4(x32) + -0.000133*T5(x32) + -0.014286*T6(x32) + -0.057960*T7(x32) + -0.016912*T8(x32) + -0.086694*T9(x32) + 0.092358*T10(x32) + 0.037890*T0(x33) + -0.051785*T1(x33) + -0.175990*T2(x33) + 0.186606*T3(x33) + 0.000281*T4(x33) + 0.019197*T5(x33) + 0.062458*T6(x33) + -0.074817*T7(x33) + -0.018568*T8(x33) + 0.052710*T9(x33) + -0.018120*T10(x33)

(F2)=0.012356*T0(x11) + -0.019793*T1(x11) + 0.006854*T2(x11) + 0.021243*T3(x11) + -0.022306*T4(x11) + 0.008330*T5(x11) + -0.014222*T6(x11) + 0.012624*T7(x11) + -0.019906*T8(x11) + 0.050271*T0(x12) + 0.081804*T1(x12) + -0.093493*T2(x12) + -0.009686*T3(x12) + 0.017788*T4(x12) + 0.072419*T5(x12) + 0.044195*T6(x12) + 0.063024*T7(x12) + 0.002600*T8(x12) + 0.031885*T0(x21) + 0.069402*T1(x21) + -0.009672*T2(x21) + 0.024425*T3(x21) + -0.030201*T4(x21) + 0.061711*T5(x21) + -0.001682*T6(x21) + 0.002225*T7(x21) + 0.029197*T8(x21) + 0.038997*T9(x21) + 0.025811*T0(x22) + 0.050392*T1(x22) + -0.002166*T2(x22) + 0.001623*T3(x22) + 0.015260*T4(x22) + 0.000771*T5(x22) + -0.004504*T6(x22) + 0.014386*T7(x22) + -0.063853*T8(x22) + 0.038509*T9(x22) + 0.044864*T0(x31) + -0.123497*T1(x31) + 0.050477*T2(x31) + -0.020078*T3(x31) + 0.089214*T4(x31) + -0.002596*T5(x31) + 0.050970*T6(x31) + 0.024087*T7(x31) + -0.000971*T8(x31) + -0.001770*T9(x31) + 0.001226*T10(x31) + 0.031293*T0(x32) + 0.165811*T1(x32) + -0.044948*T2(x32) + -0.019911*T3(x32) + -0.032902*T4(x32) + -0.021622*T5(x32) + 0.003354*T6(x32) + 0.078738*T7(x32) + 0.105813*T8(x32) + 0.069799*T9(x32) + -0.018696*T10(x32) + 0.029067*T0(x33) + -0.038543*T1(x33) + 0.008079*T2(x33) + -0.004830*T3(x33) + -0.011148*T4(x33) + -0.030140*T5(x33) + -0.039609*T6(x33) + -0.001781*T7(x33) + 0.018403*T8(x33) + -0.004008*T9(x33) + -0.011842*T10(x33)

(F3)=0.045546*T0(x11) + -0.003950*T1(x11) + -0.036390*T2(x11) + 0.051427*T3(x11) + 0.063502*T4(x11) + -0.041087*T5(x11) + 0.000969*T6(x11) + -0.026758*T7(x11) + -0.033208*T8(x11) + 0.048430*T0(x12) + 0.111330*T1(x12) + -0.037695*T2(x12) + -0.071491*T3(x12) + -0.012273*T4(x12) + 0.035906*T5(x12) + -0.016849*T6(x12) + 0.028144*T7(x12) + 0.038484*T8(x12) + 0.050054*T0(x21) + -0.001132*T1(x21) + -0.022853*T2(x21) + 0.069954*T3(x21) + 0.005049*T4(x21) + -0.048931*T5(x21) + 0.000168*T6(x21) + 0.063068*T7(x21) + 0.027562*T8(x21) + 0.000535*T9(x21) + 0.046633*T0(x22) + 0.128075*T1(x22) + -0.043301*T2(x22) + -0.005532*T3(x22) + 0.008499*T4(x22) + 0.026200*T5(x22) + -0.014075*T6(x22) + 0.027357*T7(x22) + 0.007261*T8(x22) + -0.062558*T9(x22) + 0.044309*T0(x31) + -0.107433*T1(x31) + -0.003894*T2(x31) + -0.031285*T3(x31) + 0.005203*T4(x31) + 0.018009*T5(x31) + 0.023465*T6(x31) + -0.008714*T7(x31) + -0.053416*T8(x31) + 0.017384*T9(x31) + -0.006904*T10(x31) + 0.046006*T0(x32) + 0.153373*T1(x32) + -0.055696*T2(x32) + -0.149435*T3(x32) + 0.009932*T4(x32) + -0.026782*T5(x32) + 0.019733*T6(x32) + 0.072536*T7(x32) + 0.001349*T8(x32) + 0.021223*T9(x32) + 0.040582*T10(x32) + 0.057433*T0(x33) + 0.020154*T1(x33) + -0.089240*T2(x33) + 0.002581*T3(x33) + 0.046378*T4(x33) + 0.021091*T5(x33) + -0.010835*T6(x33) + -0.008954*T7(x33) + -0.007192*T8(x33) + -0.015443*T9(x33) + -0.050591*T10(x33)

(F4)=0.028996*T0(x11) + -0.015582*T1(x11) + -0.001924*T2(x11) + 0.020551*T3(x11) + -0.016389*T4(x11) + 0.026322*T5(x11) + -0.034205*T6(x11) + 0.048808*T7(x11) + -0.007027*T8(x11) + 0.055815*T0(x12) + 0.061486*T1(x12) + -0.020821*T2(x12) + 0.007643*T3(x12) + 0.041707*T4(x12) + 0.025252*T5(x12) + 0.029808*T6(x12) + 0.081441*T7(x12) + 0.046702*T8(x12) + 0.052689*T0(x21) + 0.054955*T1(x21) + -0.014029*T2(x21) + -0.006032*T3(x21) + -0.043521*T4(x21) + 0.019032*T5(x21) + 0.037698*T6(x21) + 0.011595*T7(x21) + 0.034691*T8(x21) + 0.066806*T9(x21) + 0.029257*T0(x22) + 0.065430*T1(x22) + 0.067021*T2(x22) + -0.017535*T3(x22) + 0.001239*T4(x22) + 0.005430*T5(x22) + -0.004752*T6(x22) +

0.007835*T7(x22) + -0.008701*T8(x22) + 0.040246*T9(x22) + 0.029716*T0(x31) + -0.009701*T1(x31) + -0.025806*T2(x31) + -0.013342*T3(x31) + -0.002066*T4(x31) + 0.019101*T5(x31) + 0.032513*T6(x31) + 0.003168*T7(x31) + 0.016076*T8(x31) + -0.024018*T9(x31) + 0.025673*T10(x31) + 0.055016*T0(x32) + 0.116516*T1(x32) + -0.107575*T2(x32) + -0.036833*T3(x32) + 0.059488*T4(x32) + 0.018955*T5(x32) + -0.022501*T6(x32) + -0.025500*T7(x32) + 0.052877*T8(x32) + 0.089440*T9(x32) + 0.028682*T10(x32) + 0.068999*T0(x33) + 0.000392*T1(x33) + -0.033569*T2(x33) + -0.032958*T3(x33) + -0.021057*T4(x33) + 0.013842*T5(x33) + -0.021229*T6(x33) + 0.003795*T7(x33) + 0.023544*T8(x33) + -0.042305*T9(x33) + -0.049639*T10(x33)

(Ф1) трансформированный:

-16.499035343923882(x11)^7 + 254.47729204770297(x11)^6 - 1638.0588035380672(x11)^5 + 5578.659300657564(x11)^4 - 10858.475991092877(x11)^3 + 12126.84250895369(x11)^2 - 7223.501579485039(x11) + 1776.4706029896959 +

-0.8624015183095648(x12)^7 - 12.44247625327192(x12)^6 + 297.9472108751881(x12)^5 - 1670.4145464051235(x12)^4 + 4247.75476194035(x12)^3 - 5566.381139345729(x12)^2 + 3669.45411634083(x12) - 965.2042633510679 +

-7.825094341562885(x21)^8 + 177.00718926105043(x21)^7 - 1777.8612673076861(x21)^6 + 9536.967310860196(x21)^5 - 28926.47941594365(x21)^4 + 51128.914017826035(x21)^3 - 52206.73370290521(x21)^2 + 28547.81994751869(x21) - 6471.980127025229 +

-21.633253078488558(x22)^8 + 473.04090522884394(x22)^7 - 3898.2640819479143(x22)^6 + 16034.667469910077(x22)^5 - 37214.09894163614(x22)^4 + 51216.0950566887(x22)^3 - 41649.1488152903(x22)^2 + 18584.135019658086(x22) - 3525.369369179477 +

2.950331392289957(x31)^9 - 71.61058406748978(x31)^8 + 753.3262126564871(x31)^7 - 4445.565758990215(x31)^6 + 15907.485514025086(x31)^5 - 35570.246036076256(x31)^4 + 49815.457427311885(x31)^3 - 42380.25526419885(x31)^2 + 20006.77572944458(x31) - 4018.305592366355 +

-32.46095490592202(x32)^9 + 1015.3839130540568(x32)^8 - 11779.992327567137(x32)^7 + 70522.76909143194(x32)^6 - 245613.542701798(x32)^5 + 525285.10280286(x32)^4 - 699409.5561481034(x32)^3 + 565063.45178139(x32)^2 - 253472.9384111401(x32) + 48421.946284878424 +

8.324650665563219(x33)^9 - 245.42734977687815(x33)^8 + 3367.4929211131575(x33)^7 - 21123.16797690851(x33)^6 + 71902.09259720835(x33)^5 - 145046.0165672307(x33)^4 + 178863.65023201166(x33)^3 - 132635.50461563678(x33)^2 + 54408.83487629122(x33) - 9500.0149461516 +

0.118898830317

(Ф2) трансформированный:

6.227447547975761(x11)^7 - 93.1156136222755(x11)^6 + 613.5274197991897(x11)^5 - 2132.8501025795263(x11)^4 + 4176.946337701111(x11)^3 - 4630.9807160833225(x11)^2 + 2712.580186530753(x11) - 652.2901504659715 +

6.4503850985978675(x12)^7 - 81.11270601498921(x12)^6 + 454.86470155289896(x12)^5 - 1259.3616541075046(x12)^4 + 1781.5808266799431(x12)^3 - 1162.6866650671732(x12)^2 + 175.4757309813853(x12) + 85.20450109745401 +

7.627390896841483(x21)^8 - 125.65615596635669(x21)^7 + 1206.3551954277118(x21)^6 - 6582.88165326275(x21)^5 + 20564.72032802502(x21)^4 - 37455.61129028283(x21)^3 + 39319.17673300985(x21)^2 - 22044.78006988838(x21) + 5111.443044866554 +

15.843288351613907(x22)^8 - 362.2980411242293(x22)^7 + 3229.5373849751295(x22)^6 - 14594.891162580612(x22)^5 + 37478.271690497364(x22)^4 - 57082.82162310493(x22)^3 + 51074.92462026819(x22)^2 - 24805.787768067934(x22) + 5047.432972579094 +

-5.713844227509689(x31)^9 + 34.85453324048016(x31)^8 - 143.63937794609132(x31)^7 + 714.3882868632231(x31)^6 - 2868.9800861596923(x31)^5 + 6896.7617680751455(x31)^4 - 9665.097279756654(x31)^3 + 7839.375388261031(x31)^2 - 3444.7332478754374(x31) + 642.5361508160423 +

9.282006626607057(x32)^9 - 257.16373702982935(x32)^8 + 3112.0860166524226(x32)^7 - 19318.04839188441(x32)^6 + 68324.12468228056(x32)^5 - 144872.45831642463(x32)^4 + 186495.4259809366(x32)^3 - 141850.20608272363(x32)^2 + 58159.71078750076(x32) - 9802.20731680929 +

0.6617976315738954(x33)^9 - 31.283206296584517(x33)^8 + 521.0348790872956(x33)^7 - 4222.412184957497(x33)^6 + 18476.20944767647(x33)^5 - 46801.724136937984(x33)^4 + 70746.81055248041(x33)^3 - 62997.970699091195(x33)^2 + 30516.962907151457(x33) - 6208.447959947993 +

-0.355209657303

(Ф3) трансформированный:

-1.3189121923651257(x11)^7 - 22.657636109204404(x11)^6 + 398.26896110184373(x11)^5 - 2018.7567073571313(x11)^4 + 4903.0141195305505(x11)^3 - 6303.881741450737(x11)^2 + 4133.454172721236(x11) - 1088.1629913279776 +

0.47068013859210733(x12)^7 + 31.96692438821532(x12)^6 - 461.3346378949201(x12)^5 + 2330.665869518791(x12)^4 - 5704.374413783256(x12)^3 + 7355.437614500572(x12)^2 - 4813.684147581718(x12) + 1261.059888405153 +

1.5589248885332307(x21)^8 - 10.134447830401761(x21)^7 - 30.080602773850124(x21)^6 + 575.5813924952051(x21)^5 - 2154.5015257178966(x21)^4 + 3464.3221230155627(x21)^3 - 2504.3094879610753(x21)^2 + 587.6115897809382(x21) + 70.11902024076146 +

-5.828423711255424(x22)^8 + 225.848813999456(x22)^7 - 2595.90957449268(x22)^6 + 14017.597776333387(x22)^5 - 41352.583131974265(x22)^4 + 70686.5119565798(x22)^3 - 69912.09660828854(x22)^2 + 37136.333178210305(x22) - 8199.646902551875 +

8.47781038496583(x31)^9 - 235.77044853813825(x31)^8 + 2354.635243021246(x31)^7 - 11894.603436612988(x31)^6 + 34755.90502472879(x31)^5 - 62682.94255726783(x31)^4 + 71398.04575492913(x31)^3 - 50460.25364955292(x31)^2 + 20375.72001719932(x31) - 3619.4378367570057 +

-2.7575611389293426(x32)^9 + 101.64923683863844(x32)^8 - 1941.6769356575103(x32)^7 + 15779.389177581084(x32)^6 - 66727.76687748509(x32)^5 + 163593.89230005592(x32)^4 - 242067.1176173419(x32)^3 + 213588.58166246983(x32)^2 - 103600.50585580175(x32) + 21276.454298757286 +

8.810849813577844(x33)^9 - 283.43571475006064(x33)^8 + 3710.0951256991725(x33)^7 - 24720.96098924303(x33)^6 + 94558.67601661969(x33)^5 - 219742.91439394862(x33)^4 + 315344.5047003583(x33)^3 - 272947.8541465591(x33)^2 + 130597.4351005123(x33) - 26524.31769044025 +

-0.116726037685

(Ф4) трансформированный:

10.340062642384913(x11)^7 - 138.30438619912715(x11)^6 + 767.2199077346595(x11)^5 - 2177.8267303533385(x11)^4 + 3414.3098379430335(x11)^3 - 2966.2231336958403(x11)^2 + 1320.9156667325806(x11) - 230.27102705498004 +

0.21234290937930034(x12)^7 + 18.911723812934625(x12)^6 - 327.05473866715533(x12)^5 + 1935.2626936451893(x12)^4 - 5376.229076310934(x12)^3 + 7673.041078551894(x12)^2 - 5454.111998594761(x12) + 1530.3196178527287 +

7.262006700268323(x21)^8 - 196.26557187167714(x21)^7 + 2223.2184571515713(x21)^6 - 12388.483488590406(x21)^5 + 38004.38651204436(x21)^4 - 67569.11873557333(x21)^3 + 69429.82634102342(x21)^2 - 38266.90007430129(x21) + 8756.36726613028 +

8.254499513629128(x22)^8 - 214.12426870705673(x22)^7 + 2068.044347278305(x22)^6 - 10165.2521244752(x22)^5 + 28428.827712742255(x22)^4 - 47090.95591969687(x22)^3 + 45713.420030302965(x22)^2 - 24023.12373188455(x22) + 5275.1122669356655 +

-12.145604238263925(x31)^9 + 331.21619971777284(x31)^8 - 3644.999240799688(x31)^7 + 21048.74992792879(x31)^6 - 71419.09711456882(x31)^5 + 149871.05710076328(x31)^4 - 196891.60338744923(x31)^3 + 157704.3864293453(x31)^2 - 70447.50116239837(x31) + 13459.887268830451 +

0.5803612447938074(x32)^9 - 31.016394296141442(x32)^8 + 252.2491820135051(x32)^7 + 329.4407318283065(x32)^6 - 10251.12801068215(x32)^5 + 45571.13074438827(x32)^4 - 96197.76184347773(x32)^3 + 108754.61674929845(x32)^2 - 63465.495751096714(x32) + 15037.709387259598 +

3.0031071497559045(x33)^9 - 112.94739433046499(x33)^8 + 1942.5138393301077(x33)^7 - 15888.261808659108(x33)^6 + 69929.48811965442(x33)^5 - 179109.63870829443(x33)^4 + 275473.21450860443(x33)^3 - 250793.0436531787(x33)^2 + 124580.70534601559(x33) - 26025.1478242368 +

-0.200838369483

(Ф1) трансформированный денормированный:

-4599.124277761342(x11)^7 + 78.09779273258569(x11)^6 - 0.7219858135533982(x11)^5 + 0.003999586409081503(x11)^4 - 1.3659936430073235e-05(x11)^3 + 2.8193394250983826e-08(x11)^2 - 3.224719006924024e-11(x11) + 1.568782099813455e-14 +

108.49303389758154(x12)^7 - 3.1521105358839128(x12)^6 + 0.042804353913984086(x12)^5 - 0.0003070198129334486(x12)^4 + 1.2395770678133567e-06(x12)^3 - 2.835872060696867e-09(x12)^2 + 3.4340228349127955e-12(x12) - 1.7109687217354351e-15 +

-333.08012720986545(x21)^8 + 12.786544150994871(x21)^7 - 0.2544885173926728(x21)^6 + 0.0029254292212973765(x21)^5 - 2.0246231483310194e-05(x21)^4 + 8.532421705835877e-08(x21)^3 - 2.1392843676239542e-10(x21)^2 + 2.930230413720595e-13(x21) +

-271.34327332287165(x22)^8 + 5.0613046728000475(x22)^7 - 0.04457787130917294(x22)^6 + 0.00021529211287335952(x22)^5 - 6.150154040629564e-07(x22)^4 + 1.0697610956676978e-09(x22)^3 - 1.1168694920396912e-12(x22)^2 +

1.0255911598531355(x31)^9 - 0.0012612242917637653(x31)^8 + 7.578164332054659e-07(x31)^7 - 2.6466800509500023e-10(x31)^6 + 5.72445821386612e-14(x31)^5 +

-355.9914393771211(x32)^9 + 6.998867479089318(x32)^8 - 0.06621634593155033(x32)^7 + 0.00035409454755581596(x32)^6 - 1.1547302715783045e-06(x32)^5 + 2.378035201650968e-09(x32)^4 - 3.1043835102261267e-12(x32)^3 + 2.4894201070132485e-15(x32)^2 +

96.44677964358209(x33)^9 - 7.998282664599994(x33)^8 + 0.313772522464019(x33)^7 - 0.00596180184005488l(x33)^6 + 6.298651968875157e-05(x33)^5 - 3.9894148902816983e-07(x33)^4 + 1.5543542955017625e-09(x33)^3 - 3.6555558880252975e-12(x33)^2 + 4.7674851642729895e-15(x33) +
125040.502148

(Φ2) трансформированный денормированный:
829.8130584698233(x11)^7 - 14.176528054200599(x11)^6 + 0.13173452794522858(x11)^5 - 0.0007307907728948401(x11)^4 + 2.486969523604905e-06(x11)^3 - 5.089416466853185e-09(x11)^2 + 5.7477220209684174e-12(x11) - 2.752258222856249e-15 +
108.29257681503226(x12)^7 - 1.8263932313443567(x12)^6 + 0.015489215150316185(x12)^5 - 7.11432327334554e-05(x12)^4 + 1.755257353044725e-07(x12)^3 - 2.0184966827298826e-10(x12)^2 + 3.8860370732068746e-14(x12) +
117.3013242403875(x21)^8 - 4.228900383816952(x21)^7 + 0.0840898860697216(x21)^6 - 0.0009847257334973055(x21)^5 + 6.980831300681834e-06(x21)^4 - 3.015351604812649e-08(x21)^3 + 7.740193826175305e-11(x21)^2 - 1.0836482380224529e-13(x21) +
101.33748555902662(x22)^8 - 1.9816431062154247(x22)^7 + 0.01868744405857649(x22)^6 - 9.794604122018109e-05(x22)^5 + 3.058104248234318e-07(x22)^4 - 5.821083070298784e-10(x22)^3 + 6.62369556691106e-13(x22)^2 +
-0.5171462644511157(x31)^9 + 0.00021171476735298736(x31)^8 - 6.553817761885988e-08(x31)^7 + 2.111482606067017e-11(x31)^6 - 5.018276929908661e-15(x31)^5 +
45.04837247843453(x32)^9 - 0.8768534858425531(x32)^8 + 0.008530747811915616(x32)^7 - 4.659701745905531e-05(x32)^6 + 1.5278584730055276e-07(x32)^5 - 3.1026273906335033e-10(x32)^4 + 3.9086127574394853e-13(x32)^3 +
4.573680695776743(x33)^9 - 0.521559951698434(x33)^8 + 0.024578969441882217(x33)^7 - 0.0005922359836085081(x33)^6 + 7.932308648794978e-06(x33)^5 - 6.250652555818357e-08(x33)^4 + 2.966827569363463e-10(x33)^3 - 8.342406548705425e-13(x33)^2 + 1.2807255322292221e-15(x33) +
-26182.613937

(Φ3) трансформированный денормированный:
190.00404951898813(x11)^7 - 3.8798759735340322(x11)^6 + 0.041638613167215094(x11)^5 - 0.00025947403486339184(x11)^4 + 9.723824211158121e-07(x11)^3 - 2.1604871098340514e-09(x11)^2 + 2.6211938641988632e-12(x11) - 1.3370338275963192e-15 +
-24.66271959535307(x12)^7 + 0.6541056178798178(x12)^6 - 0.008356265229455014(x12)^5 + 5.7928391754610155e-05(x12)^4 - 2.2957673919400212e-07(x12)^3 + 5.200250666118661e-10(x12)^2 - 6.263420972810898e-13(x12) +
1.6709675606205754(x21)^8 + 0.02490817333399907(x21)^7 - 0.0016886746314248016(x21)^6 + 2.710855621998293e-05(x21)^5 - 1.9727335904124013e-07(x21)^4 + 7.196805123697831e-10(x21)^3 - 1.2501715290418767e-12(x21)^2 +
-18.705186703901436(x22)^8 + 0.44422432765639663(x22)^7 - 0.004897073545991418(x22)^6 + 2.9275722474557048e-05(x22)^5 - 1.0233911674150614e-07(x22)^4 + 2.1516167085412892e-10(x22)^3 - 2.6771487878065965e-13(x22)^2 +
0.4390393478500424(x31)^9 - 0.0005561055731529721(x31)^8 + 3.0889885629711803e-07(x31)^7 - 9.26151728039998e-11(x31)^6 + 1.656565513221482e-14(x31)^5 +
-6.1109034866200425(x32)^9 + 0.1503465632902456(x32)^8 - 0.0018574834320967371(x32)^7 + 1.2163706389281536e-05(x32)^6 - 4.601976216558418e-08(x32)^5 + 1.062250977603846e-10(x32)^4 - 1.5218829725126513e-13(x32)^3 +
14.649064819654553(x33)^9 - 1.2709898723180324(x33)^8 + 0.048745627701920875(x33)^7 - 0.000987852551009717(x33)^6 + 1.1702444440747316e-05(x33)^5 - 8.50889105329792e-08(x33)^4 + 3.8446470144320924e-10(x33)^3 - 1.052087246889114e-12(x33)^2 + 1.5960151773967574e-15(x33) +
-2775.17963982

(Φ4) трансформированный денормированный:
765.408644971413(x11)^7 - 11.773390344103987(x11)^6 + 0.09663440335266645(x11)^5 - 0.0004650645106541401(x11)^4 + 1.348468111781951e-06(x11)^3 - 2.304491257934846e-09(x11)^2 + 2.1205593168802336e-12(x11) +
-52.493137275438585(x12)^7 + 1.466352247818114(x12)^6 - 0.020178241295985593(x12)^5 + 0.00015179908779571136(x12)^4 - 6.509427598699939e-07(x12)^3 + 1.5839869945559074e-09(x12)^2 - 2.0330962950879735e-12(x12) + 1.067899501533055e-15 +
151.7196777753417(x21)^8 - 6.205038265485021(x21)^7 + 0.1287721524507929(x21)^6 - 0.0015064083633963476(x21)^5 + 1.0502689771995762e-05(x21)^4 - 4.4489415689222575e-08(x21)^3 + 1.1219279757699921e-10(x21)^2 - 1.547719148922098e-13(x21) +

49.68075448648928(x22)^8 - 1.0358200978086103(x22)^7 + 0.010412998052398158(x22)^6 - 5.856636781623867e-05(x22)^5 + 1.968629088923431e-07(x22)^4 - 4.0367086949792625e-10(x22)^3 + 4.944341410969362e-13(x22)^2 +
-1.7925241292342973(x31)^9 + 0.0023375629703956953(x31)^8 - 1.4272969000904954e-06(x31)^7 + 4.846800742797487e-10(x31)^6 - 9.960346769216611e-14(x31)^5 +
3.1254069097863053(x32)^9 - 0.04983434646160334(x32)^8 + 6.86792035101902e-05(x32)^7 + 3.3273589663490014e-06(x32)^6 - 2.6835706784325188e-08(x32)^5 + 9.459718867563953e-11(x32)^4 - 1.812901018797406e-13(x32)^3 +
15.400445337106982(x33)^9 - 1.5687545598576198(x33)^8 + 0.07567257408566597(x33)^7 - 0.001838088356856294(x33)^6 + 2.477119859308518e-05(x33)^5 - 1.9739409162164535e-07(x33)^4 + 9.530702566789848e-10(x33)^3 - 2.738830601005872e-12(x33)^2 + 4.309688485498743e-15(x33) +
-21195.9636689

Тестування на власній вибірці.

Була обрана вибірка за сайту: https://archive.ics.uci.edu
За допомогою даної вибірки ми спробували встановити залежність між цінами на житло в різних частинах Америки в залежності від таких факторів, як: середній дохід мешканця, якість навколишнього середовища та 10 інших критерієв.
Дана вибірка була створена Harrison, D. and Rubinfeld, D.L.
При виконанні роботи 'Hedonic prices and the demand for clean air' в 1978 році.

Опис данних:

Виборка має 12 змінних:
1. Рівень злочинів у місті
2. Кількісь парків тощо
3. Пропорція не рентальної землі в місті.
4. Концентрація оксидів натрію.
5. Середня кількість кімнат у житлі
6. Пропорція будинків, що є заселеними з1940
7. Відстань до робочих центрів
8. Індекс доступності транспортних розв’язків
9. Кількість стягнених налогів
10. Співвідношення учнів до вчителів
11. Індекс благополучча міста
12. Процентне співвідношення бідних верств населення
Та 1 вектор вихідних данних
1. Власне, середня вартість житла

Розмірність вибірки – 100 зразків

Для того, щоб більш наочно продемонструвати можливості алгоритма, який запропонований у лабораторній роботі, ми розбили параметри наступним чином:

Множині змінних X1 (показники, які можливо контролювати при проектуванні або виборі житла) було віднесено:

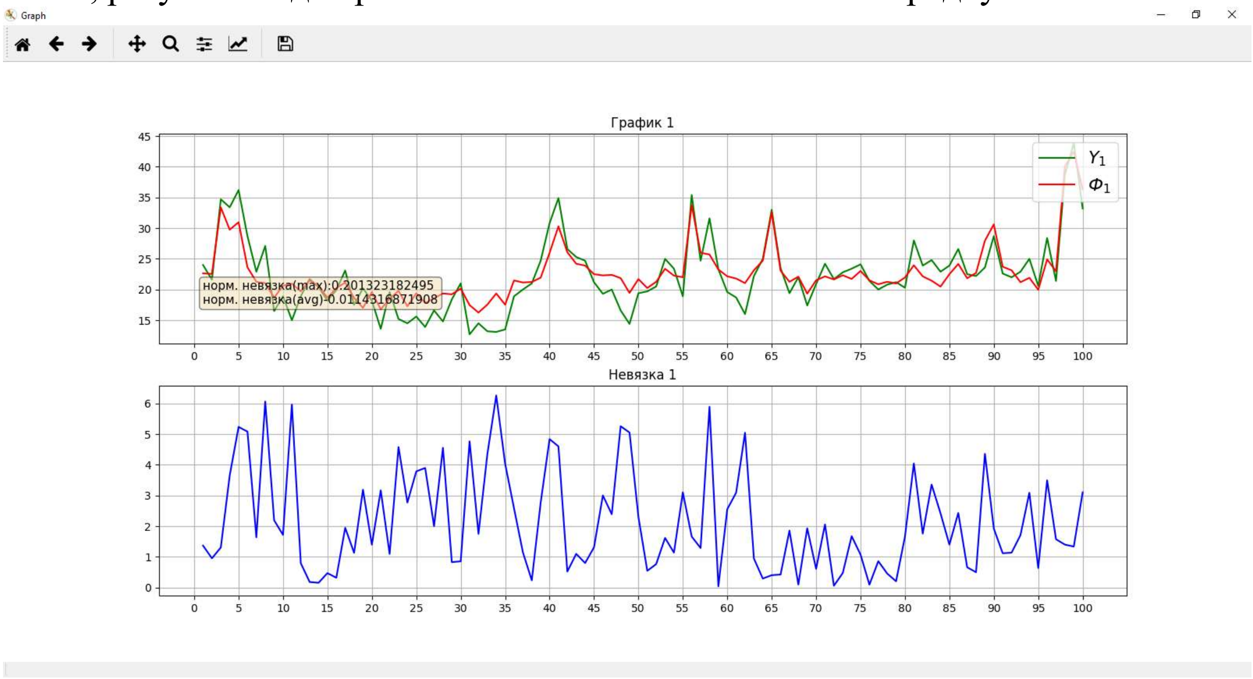
5. Середня кількість кімнат у житлі

Множині змінних X2 (зовнішні фактори, які можливо контролювати, чи ті які не змінюються з часом) ми віднесли наступні:
2. Кількісь парків тощо
3. Пропорція не рентальної землі в місті.
6. Пропорція будинків, що є заселеними з1940
7. Відстань до робочих центрів
8. Індекс доступності транспортних розв’язків

Множині змінних X3 (зовнішні фактори, які неможливо контролювати або передбачити) ми віднесли наступні:
1. Рівень злочинів у місті
4. Концентрація оксидів натрію.
9. Кількість зтягнених налогів
10. Співвідношення учнів до вчителів
11. Індекс благополучча міста
12. Процентне співвідношення бідних верств населення

Вихідні параметри:
1. Власне, середня вартість житла

Для відновлення функціональної залежності найкраще себе показав поліном ступенів 4 8 9.
Отже, результати для роботи з поліномами Чебишева порядку 4 8 9:



норм. невязка(max):0.201323182495
норм. невязка(avg)-0.0114316871908

Висновок

Отже, в нашій роботі була розв’язана задача пошуку функціональної залежності у вигляді узагальнених многочленів, і як критерій пошуку використовувався Чебишевський критерій наближення системи. Згідно з теоремою Вейерштрасса, зі збільшенням степені полінома, наближення моделі повинно покращуватися, але як ми виявили (на власній вибірці) – зі збільшенням від оптимального значення похибка зростатиме.

Для нашої моделі многочлен порядку 7 7 4 для наших змінних вже дає прийнятну похибку. Для власної вибірки оптимальним виявився многочлен 8 порядку для всіх змінних.

Знайдена функціональна залежність дає змогу знайти значення функції як і в середині інтервалу області значення змінних данної вибірки (мається на увазі ті, значення Xi, що не вказані у вибірці), так і дає змогу прогнозування за межі інтервалів області значень змінних у даній вибірці.

Література:

Праці з рішення неузгоджених систем:

L. V. Vojtíšek
Отыскание наилучшего в смысле Чебышева решения несовместной системы линейных алгебраических уравнений
Aplikace matematiky, Vol. 11 (1966), No. 3, 232—237

С. И. Зуховицкий
О наилучшем в смысле П. Л. Чебышева приближении конечной системы несовместных линейных уравнений, Матем. сб., 1953, том 33(75), номер 2, 327–342

Сучасні алгоритми основані на методі спряжених градієнтів:

Van der Vorst, H. A
Iterative Krylov Methods for Large Linear systems. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-81828-1. (2003).

Наближення за допомогою поліномів Чебишева різного роду. Відновлення рівнянь:

Відновлення разривних функцій:
О. В. Жучко, Ю. П. Пытьев,
Восстановление функциональной зависимости
теоретико-возможностными методами, Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 2003, том 43, номер 5, 767–783

Під час віконання роботи була використана теорія по методу спряжених напрямків.

Методичний посібник до лабораторних робіт з курсу «Методи оптимізації» А.П. Яковлева, І.Я. Спекторський. – К.: НТУУ «КПІ» ННК «ІПСА» , 2000. – 65 с.

Інтернет – ресурси. Виеористані для уточнення алгоритмів.
Вікіпедія : сторінки про поліноми Лежандра, Лагера, Ерміта, Чебишева.

Відновлення функціональних залежностей для різнотипних невизначеностей:

da Silva, R.B., Bulska, E., Godlewska-Zylkiewicz, B., Hedrich, M., Majcen, N., Magnusson, B., Marincic, S., Papadakis, I., Patriarca, M., Vassileva, E., Taylor, P., Analytical measurement: measurement uncertainty and statistics; ISBN 978-92-79-23070-7, 2012

Ronald M. KAPLAN and John T. MAXWEI,L I[I, An Algorithm for Functional Uncertainty, Xerox Pale Alto Research Center.

Sergey K. Korovin, Vasily V. Fomichev, State Observers for Linear Systems with Uncertainty, ISBN 978-3-11-021812-1 ,2000

Лістинг програми:

Main.py

```
__author__ = 'KA_41_1'
# coding: utf8

import sys

from PyQt5.QtCore import pyqtSlot, pyqtSignal
from PyQt5.QtGui import QTextDocument, QFont
from PyQt5.QtWidgets import QApplication, QDialog, QFileDialog, QMessageBox
from PyQt5.uic import loadUiType

from presentation import PolynomialBuilder
from solve import Solve

app = QApplication(sys.argv)
app.setApplicationName('lab2_sa')
form_class, base_class = loadUiType('main_window.ui')


class MainWindow(QDialog, form_class):
    # signals:
    input_changed = pyqtSignal('QString')
    output_changed = pyqtSignal('QString')
    # x1_dim_changed = pyqtSignal(int)
    # x2_dim_changed = pyqtSignal(int)
    # x3_dim_changed = pyqtSignal(int)
    # x1_deg_changed = pyqtSignal(int)
    # x2_deg_changed = pyqtSignal(int)
    # x3_deg_changed = pyqtSignal(int)
    # type_cheb = pyqtSignal()
    # type_lege = pyqtSignal()
    # type_lagg = pyqtSignal()
    # type_herm = pyqtSignal()


    def __init__(self, *args):
        super(MainWindow, self).__init__(*args)

        # setting up ui
        self.setupUi(self)

        # other initializations
        self.dimensions = [self.x1_dim.value(), self.x2_dim.value(),
                           self.x3_dim.value(), self.y_dim.value()]
        self.degrees = [self.x1_deg.value(), self.x2_deg.value(), self.x3_deg.value()]
        self.type = 'null'
        if self.radio_cheb1.isChecked():
            self.type = 'chebyshev1'
        elif self.radio_cheb2.isChecked():
            self.type = 'chebyshev2'
        elif self.radio_legend.isChecked():
            self.type = 'legendre'
        elif self.radio_lagg.isChecked():
            self.type = 'laguerre'
        elif self.radio_herm.isChecked():
            self.type = 'hermit'
        self.input_path = ''
        self.output_path = ''
        self.samples_num = self.sample_spin.value()
        self.lambda_multiblock = self.lambda_check.isChecked()
        self.weight_method = self.weights_box.currentText().lower()
        self.solution = None
        doc = self.results_field.document()
        assert isinstance(doc, QTextDocument)
        font = doc.defaultFont()
        assert isinstance(font, QFont)
        font.setFamily('Courier New')
        font.setPixelSize(12)
        doc.setDefaultFont(font)
        return

    @pyqtSlot()
    def input_clicked(self):
        filename = QFileDialog.getOpenFileName(self, 'Open data file', '.', 'Data file (*.txt *.dat)')[0]
        if filename == '':
            return
        if filename != self.input_path:
            self.input_path = filename
            self.input_changed.emit(filename)
        return

    @pyqtSlot('QString')
    def input_modified(self, value):
        if value != self.input_path:
            self.input_path = value
        return

    @pyqtSlot()
    def output_clicked(self):
        filename = QFileDialog.getSaveFileName(self, 'Save data file', '.', 'Spreadsheet (*.xlsx)')[0]
        if filename == '':
            return
        if filename != self.output_path:
            self.output_path = filename
            self.output_changed.emit(filename)
        return

    @pyqtSlot('QString')
    def output_modified(self, value):
        if value != self.output_path:
            self.output_path = value
        return

    @pyqtSlot(int)
    def samples_modified(self, value):
        self.samples_num = value
        return

    @pyqtSlot(int)
```

```
def dimension_modified(self, value):
    sender = self.sender().objectName()
    if sender == 'x1_dim':
        self.dimensions[0] = value
    elif sender == 'x2_dim':
        self.dimensions[1] = value
    elif sender == 'x3_dim':
        self.dimensions[2] = value
    elif sender == 'y_dim':
        self.dimensions[3] = value
    return

@pyqtSlot(int)
def degree_modified(self, value):
    sender = self.sender().objectName()
    if sender == 'x1_deg':
        self.degrees[0] = value
    elif sender == 'x2_deg':
        self.degrees[1] = value
    elif sender == 'x3_deg':
        self.degrees[2] = value
    return

@pyqtSlot(bool)
def type_modified(self, isdown):
    if (isdown):
        sender = self.sender().objectName()
        if sender == 'radio_cheb1':
            self.type = 'chebyshev1'
        elif sender == 'radio_cheb2':
            self.type = 'chebyshev2'
        elif sender == 'radio_legend':
            self.type = 'legendre'
        elif sender == 'radio_lagg':
            self.type = 'laguerre'
        elif sender == 'radio_herm':
            self.type = 'hermit'
    return

@pyqtSlot()
def plot_clicked(self):
    if self.solution:
        try:
            self.solution.plot_graphs()
        except Exception as e:
            QMessageBox.warning(self,'Error!','Error happened during plotting: ' + str(e))
    return

@pyqtSlot()
def exec_clicked(self):
    self.exec_button.setEnabled(False)
    try:
        solver = Solve(self.__get_params())
        solver.prepare()
        self.solution = PolynomialBuilder(solver)
        self.results_field.setText(solver.show()+'\n\n'+self.solution.get_results())
    except Exception as e:
        QMessageBox.warning(self,'Error!','Error happened during execution: ' + str(e))
    self.exec_button.setEnabled(True)
    return

@pyqtSlot(bool)
def lambda_calc_method_changed(self, isdown):
        self.lambda_multiblock = isdown
        return

    @pyqtSlot('QString')
    def weights_modified(self, value):
        self.weight_method = value.lower()
        return

    def __get_params(self):
        return dict(poly_type=self.type, degrees=self.degrees, dimensions=self.dimensions,
                    samples=self.samples_num, input_file=self.input_path, output_file=self.output_path,
                    weights=self.weight_method, lambda_multiblock=self.lambda_multiblock)


# -----------------------------------------------------#
form = MainWindow()
form.setWindowTitle('System Analysis - Lab 2')
form.show()
sys.exit(app.exec_())
```

input_data.py

```
__author__ = 'KA_41_1'

def read_data(filename = 'data_2.txt'):
    f = open(filename, 'r')
    data = []
    for line in f:
        newline = str(line)
        data.append([float(i) for i in newline.split()])
    f.close()
    return data
package sample;
```

basis_geperator.py

```
from numpy.polynomial import Polynomial as pm
__author__ = 'KA_41_1'


def basis_sh_chebyshev1(degree):
    basis = [pm([-1, 2]), pm([1])]
    for i in range(degree):
        basis.append(pm([-2, 4])*basis[-1] - basis[-2])
    del basis[0]
    return basis


def basis_sh_chebyshev2(degree):
    basis = [pm([1]), pm([-2, 4])]
    for i in range(degree):
        basis.append(pm([-2, 4])*basis[-1] - basis[-2])
    del basis[0]
    return basis


def basis_sh_legendre(degree):
    basis = [pm([1])]
    for i in range(degree):
        if i == 0:
            basis.append(pm([-1, 2]))
            continue
        basis.append((pm([-2*i - 1, 4*i + 2])*basis[-1] - i * basis[-2]) / (i + 1))
    return basis


def basis_hermite(degree):
    basis = [pm([0]), pm([1])]
    for i in range(degree):
        basis.append(pm([0,2])*basis[-1] - 2 * i * basis[-2])
    del basis[0]
    return basis


def basis_laguerre(degree):
    basis = [pm([1])]
    for i in range(degree):
        if i == 0:
            basis.append(pm([1, -1]))
            continue
        basis.append(pm([2*i + 1, -1])*basis[-1] - i * i * basis[-2])
    return basis
```

choose_p.py

```
__author__ = 'KA_41_1'
from lab_2.solve import *

a= Solve({'samples':50, 'input_file': 'data_2.txt', 'dimensions': [3, 1, 2, 2], 'output_file': '', 'degrees': [3, 3, 3],
     'lambda_multiblock': False, 'weights': 'average', 'poly_type': 'hermit'})

#a= Solve({'samples': 100, 'input_file': 'data_2_our_sample.txt', 'dimensions': [1, 2, 1, 1], 'output_file': '', 'degrees': [3,
3, 3],
#     'lambda_multiblock': False, 'weights': 'average', 'poly_type': 'hermit'})
a.define_data()
a.norm_data()
a.define_norm_vectors()
a.built_B()
a.poly_func()
def test_p(a,p1,p2,p3):
    d = list()
    #d = dict()
    for i in range(1,p1):
        for j in range(1,p2):
            for k in range(1,p3):
                a.p = [i+1,j+1,k+1]
                print(a.p)
                a.built_A()
                a.lamb()
                a.psi()
                a.built_a()
                a.built_Fi()
                a.built_c()
                a.built_F()
                a.built_F_()
                #d[str(i)+' '+str(j)+' '+str(k)] = [np.linalg.norm(a.F - a.Y), np.std(a.F_ - a.Y_, axis=0),\
                 #                    np.linalg.norm(a.F_ - a.Y_)]
                d.append((str(i)+' '+str(j)+' '+str(k),np.linalg.norm(a.norm_error)))
    return d

d = test_p(a,15,15,15)
f = open('test_p.txt','w')
miner = d[0]
for i in d:
    f.write(str(i[0])+' : '+str(i[1]))
    f.write('\n')
    if i[1] < miner[1]:
        miner = i
print(miner)
```

debug.py

```
__author__ = 'KA_41_1'
from lab_2.solve import *

a= Solve({'samples': 50, 'input_file': 'data_2.txt', 'dimensions': [3, 1, 2, 2], 'output_file': 'data2_611_average.xlsx',
'degrees': [3, 3, 3],
     'lambda_multiblock': False, 'weights': 'average', 'poly_type': 'laguerre'})
a.define_data()
a.norm_data()
a.define_norm_vectors()
a.built_B()
a.poly_func()

#i,j,k = 2,15,1
#i,j,k = 6,1,1 # best for data_2.txt

i,j,k = 6,1,1
a.p = [i+1,j+1,k+1]
a.built_A()
a.lamb()
a.psi()
a.built_a()
a.built_Fi()
a.built_c()
a.built_F()
a.built_F_()
#a.save_to_file()
print(str(i)+' '+str(j)+' '+str(k),a.norm_error,np.linalg.norm(a.norm_error))
```

presentation.py

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from os import name as os_name

from solve import Solve
import basis_generator as b_gen
from show_polynomial import _Polynom

__author__ = 'vlad'


class PolynomialBuilder(object):
    def __init__(self, solution):
        assert isinstance(solution, Solve)
        self._solution = solution
        max_degree = max(solution.p) - 1
        if solution.poly_type == 'chebyshev1':
            self.symbol = 'T'
            self.basis = b_gen.basis_sh_chebyshev1(max_degree)
        if solution.poly_type == 'chebyshev2':
            self.symbol = 'U'
            self.basis = b_gen.basis_sh_chebyshev2(max_degree)
        elif solution.poly_type == 'legendre':
            self.symbol = 'P'
            self.basis = b_gen.basis_sh_legendre(max_degree)
        elif solution.poly_type == 'laguerre':
            self.symbol = 'L'
            self.basis = b_gen.basis_laguerre(max_degree)
        elif solution.poly_type == 'hermit':
            self.symbol = 'H'
            self.basis = b_gen.basis_hermite(max_degree)
        self.a = solution.a.T.tolist()
        self.c = solution.c.T.tolist()
        self.minX = [X.min(axis=0).getA1() for X in solution.X_]
        self.maxX = [X.max(axis=0).getA1() for X in solution.X_]
        self.minY = solution.Y_.min(axis=0).getA1()
        self.maxY = solution.Y_.max(axis=0).getA1()

    def _form_lamb_lists(self):
        """
        Generates specific basis coefficients for Psi functions
        """
        self.psi = list()
        for i in range(self._solution.Y.shape[1]):  # `i` is an index for Y
            psi_i = list()
            shift = 0
            for j in range(3):  # `j` is an index to choose vector from X
                psi_i_j = list()
                for k in range(self._solution.deg[j]):  # `k` is an index for vector component
                    psi_i_jk = self._solution.Lamb[shift:shift + self._solution.p[j], i].getA1()
                    shift += self._solution.p[j]
                    psi_i_j.append(psi_i_jk)
                psi_i.append(psi_i_j)
            self.psi.append(psi_i)

    def _transform_to_standard(self, coeffs):
        """
        Transforms special polynomial to standard
        :param coeffs: coefficients of special polynomial
        :return: coefficients of standard polynomial
        """
        std_coeffs = np.zeros(coeffs.shape)
        for index in range(coeffs.shape[0]):
            cp = self.basis[index].coef.copy()
            cp.resize(coeffs.shape)
            std_coeffs += coeffs[index] * cp
        return std_coeffs

    def _print_psi_i_jk(self, i, j, k):
        """
        Returns string of Psi function in special polynomial form
        :param i: an index for Y
        :param j: an index to choose vector from X
        :param k: an index for vector component
        :return: result string
        """
        strings = list()
        for n in range(len(self.psi[i][j][k])):
            strings.append('{0:.6f}*{symbol}{deg}(x{1}{2})'.format(self.psi[i][j][k][n], j + 1, k + 1,
                                                                       symbol=self.symbol, deg=n))
        return ' + '.join(strings)

    def _print_phi_i_j(self, i, j):
        """
        Returns string of Phi function in special polynomial form
        :param i: an index for Y
        :param j: an index to choose vector from X
        :return: result string
        """
        strings = list()
        for k in range(len(self.psi[i][j])):
            shift = sum(self._solution.deg[:j]) + k
            for n in range(len(self.psi[i][j][k])):
                strings.append('{0:.6f}*{symbol}{deg}(x{1}{2})'.format(self.a[i][shift] * self.psi[i][j][k][n],
                                                                      j + 1, k + 1, symbol=self.symbol, deg=n))
        return ' + '.join(strings)

    def _print_F_i(self, i):
        """
        Returns string of F function in special polynomial form
        :param i: an index for Y
        :return: result string
        """
        strings = list()
        for j in range(3):
            for k in range(len(self.psi[i][j])):
                shift = sum(self._solution.deg[:j]) + k
                for n in range(len(self.psi[i][j][k])):
                    strings.append('{0:.6f}*{symbol}{deg}(x{1}{2})'.format(self.c[i][j] * self.a[i][shift] *
                                                                          self.psi[i][j][k][n],
                                                                          j + 1, k + 1, symbol=self.symbol, deg=n))
        return ' + '.join(strings)

    def _print_F_i_transformed_denormed(self, i):
        """
        Returns string of F function in special polynomial form
        :param i: an index for Y
        :return: result string
        """
        strings = list()
        constant = 0
        for j in range(3):
            for k in range(len(self.psi[i][j])):
                shift = sum(self._solution.deg[:j]) + k
                raw_coeffs = self._transform_to_standard(self.c[i][j] * self.a[i][shift] * self.psi[i][j][k])
                diff = self.maxX[j][k] - self.minX[j][k]
                mult_poly = np.poly1d([1 / diff, - self.minX[j][k]] / diff)
                add_poly = np.poly1d([1])
                current_poly = np.poly1d([0])
                for n in range(len(raw_coeffs)):
                    current_poly += add_poly * raw_coeffs[n]
                    add_poly *= mult_poly
                current_poly = current_poly * (self.maxY[i] - self.minY[i]) + self.minY[i]
                constant += current_poly[0]
                current_poly[0] = 0
                current_poly = np.poly1d(current_poly.coeffs, variable='(x{0}{1})'.format(j + 1, k + 1))
                strings.append(str(_Polynom(current_poly, '(x{0}{1})'.format(j + 1, k + 1))))
        strings.append(str(constant))
        return ' +\n'.join(strings)

    def _print_F_i_transformed(self, i):
        """
        Returns string of F function in special polynomial form
        :param i: an index for Y
        :return: result string
        """
        strings = list()
        constant = 0
        for j in range(3):
            for k in range(len(self.psi[i][j])):
                shift = sum(self._solution.deg[:j]) + k
                current_poly = np.poly1d(self._transform_to_standard(self.c[i][j] * self.a[i][shift] *
                                                                     self.psi[i][j][k])[::-1],
                                         variable='(x{0}{1})'.format(j + 1, k + 1))
                constant += current_poly[0]
                current_poly[0] = 0
                strings.append(str(_Polynom(current_poly, '(x{0}{1})'.format(j + 1, k + 1))))
        strings.append(str(constant))
        return ' +\n'.join(strings)

    def get_results(self):
        """
        Generates results based on given solution
        :return: Results string
        """
        self._form_lamb_lists()
        psi_strings = ['(Psi{1}{2})[{0}]={result}\n'.format(i + 1, j + 1, k + 1, result=self._print_psi_i_jk(i, j, k))
                       for i in range(self._solution.Y.shape[1])
                       for j in range(3)
                       for k in range(self._solution.deg[j])]
        phi_strings = ['(Phi{1})[{0}]={result}\n'.format(i + 1, j + 1, result=self._print_phi_i_j(i, j))
                       for i in range(self._solution.Y.shape[1])
                       for j in range(3)]
        f_strings = ['(F{0})={result}\n'.format(i + 1, result=self._print_F_i(i))
                     for i in range(self._solution.Y.shape[1])]
        f_strings_transformed = ['(Φ{0}) трансформированный:\n{result}\n'.format(i + 1,
result=self._print_F_i_transformed(i))
                                 for i in range(self._solution.Y.shape[1])]
        f_strings_transformed_denormed = ['(Φ{0}) трансформированный ' \
                                          'денормированный:\n{result}\n'.format(i + 1, result=
        self._print_F_i_transformed_denormed(i))
                                          for i in range(self._solution.Y.shape[1])]
        return '\n'.join(psi_strings + phi_strings + f_strings + f_strings_transformed + f_strings_transformed_denormed)

    def plot_graphs(self):
        fig, axes = plt.subplots(2, self._solution.Y.shape[1])
        if self._solution.Y.shape[1] == 1:
            axes[0] = [axes[0]]
            axes[1] = [axes[1]]
        for index in range(self._solution.Y.shape[1]):
            ax = axes[0][index]  # real and estimated graphs
            norm_ax = axes[1][index]  # abs residual graph
            ax.set_xticks(np.arange(0, self._solution.n + 1, 5))
            ax.plot(np.arange(1, self._solution.n + 1), self._solution.Y_[:, index],
                    'g-', label='$Y_{0}$'.format(index + 1))
            ax.plot(np.arange(1, self._solution.n + 1), self._solution.F_[:, index],
                    'r-', label='$Φ_{0}$'.format(index + 1))
            ax.legend(loc='upper right', fontsize=16)
            ax.set_title('График {0}'.format(index + 1))
            ax.grid()

            norm_ax.set_xticks(np.arange(0, self._solution.n + 1, 5))
            norm_ax.plot(np.arange(1, self._solution.n + 1),
                         abs(self._solution.Y_[:, index] - self._solution.F_[:, index]), 'k-')
            norm_ax.set_title('Невязка {0}'.format(index + 1))
            norm_ax.grid()

        manager = plt.get_current_fig_manager()
        manager.set_window_title('Graph')
        if os_name == 'posix':
            fig.show()
        else:
            plt.show()
```

show_polynomial.py

```
class _Polynom(object):
    def __init__(self, ar, symbol = 'x',eps = 1e-15):
        self.ar = ar
        self.symbol = symbol
        self.eps = eps

    def __repr__(self):
        #joinder[first, negative] = str
        joiner = {
            (True, True):'-',
            (True, False): '',
            (False, True): ' - ',
            (False, False): ' + '
        }

        result = []
        for deg, coef in reversed(list(enumerate(self.ar))):
            sign = joiner[not result, coef < 0]
            coef  = abs(coef)
            if coef == 1 and deg != 0:
                coef = ''
            if coef < self.eps:
                continue
            f = {0: '{}{}', 1: '{}{}'+self.symbol}.get(deg, '{}{}'+ self.symbol +'^{}')
            result.append(f.format(sign, coef, deg))
        return ''.join(result) or '0'

#s = _Polynom([3,4,0,5,0,12], 'X').__repr__()
#print(s+s)
```

Solve.py

```
__author__ = 'KA_41_1'
from copy import deepcopy

from scipy import special
from openpyxl import Workbook

from system_solve import *
from tabulate import tabulate as tb


class Solve(object):

    def __init__(self,d):
        self.n = d['samples']
        self.deg = d['dimensions']
        self.filename_input = d['input_file']
        self.filename_output = d['output_file']
        self.dict = d['output_file']
        self.p = list(map(lambda x:x+1,d['degrees'])) # on 1 more because include 0
        self.weights = d['weights']
        self.poly_type = d['poly_type']
        self.splitted_lambdas = d['lambda_multiblock']
        self.eps = 1E-6
        self.norm_error=0.0
        self.error=0.0

    def define_data(self):
        f = open(self.filename_input, 'r')
        # all data from file_input in float
        self.datas = np.matrix([list(map(lambda x:float(x),f.readline().split())) for i in range(self.n)])
        # list of sum degrees [ 3,1,2] -> [3,4,6]
        self.degf = [sum(self.deg[:i + 1]) for i in range(len(self.deg))]

    def _minimize_equation(self, A, b, type='cjg'):
        """
        Finds such vector x that |Ax-b|->min.
        :param A: Matrix A
        :param b: Vector b
        :return: Vector x
        """
        if type == 'lsq':
            return np.linalg.lstsq(A,b)[0]
        elif type == 'cjg':
            return conjugate_gradient_method(A.T*A, A.T*b, self.eps)

    def norm_data(self):
        '''
        norm vectors value to value in [0,1]
        :return: float number in [0,1]
        '''
        n,m = self.datas.shape
        vec = np.ndarray(shape=(n,m),dtype=float)
        for j in range(m):
            minv = np.min(self.datas[:,j])
            maxv = np.max(self.datas[:,j])
            for i in range(n):
                vec[i,j] = (self.datas[i,j] - minv)/(maxv - minv)
        self.data = np.matrix(vec)

    def define_norm_vectors(self):
        '''
        build matrix X and Y
        :return:
        '''
        X1 = self.data[:, :self.degf[0]]
        X2 = self.data[:, self.degf[0]:self.degf[1]]
        X3 = self.data[:, self.degf[1]:self.degf[2]]
        #matrix of vectors i.e.X = [[X11,X12],[X21],...]
        self.X = [X1, X2, X3]
        #number columns in matrix X
        self.mX = self.degf[2]
        # matrix, that consists of i.e. Y1,Y2
        self.Y = self.data[:, self.degf[2]:self.degf[3]]
        self.Y_ = self.datas[:, self.degf[2]:self.degf[3]]
        self.X_ = [self.datas[:, :self.degf[0]], self.datas[:,self.degf[0]:self.degf[1]],
                   self.datas[:, self.degf[1]:self.degf[2]]]

    def built_B(self):
        def B_average():
            '''
            Vector B as avarage of max and min in Y. B[i] =max Y[i,:]
            :return:
            '''
            b = np.tile((self.Y.max(axis=1) + self.Y.min(axis=1))/2,(1,self.deg[3]))
            return b

        def B_scaled():
            '''
            Vector B  = Y
            :return:
            '''
            return deepcopy(self.Y)
            if self.weights == 'average':
                self.B = B_average()
            elif self.weights =='scaled':
                self.B = B_scaled()
            else:
                exit('B not definded')

        def poly_func(self):
            '''
            Define function to polynoms
            :return: function
            '''
            if self.poly_type =='chebyshev1':
                self.poly_f = special.eval_sh_chebyt
            elif self.poly_type =='chebyshev2':
                self.poly_f = special.eval_sh_chebyu
            elif self.poly_type == 'legendre':
                self.poly_f = special.eval_sh_legendre
            elif self.poly_type == 'laguerre':
                self.poly_f = special.eval_laguerre
            elif self.poly_type == 'hermit':
                self.poly_f = special.eval_hermite

        def built_A(self):
            '''
            built matrix A on shifted polynomys Chebysheva
            :param self.p:mas of deg for vector X1,X2,X3 i.e.
            :param self.X: it is matrix that has vectors X1 - X3 for example
            :return: matrix A as ndarray
            '''

            def mA():
                '''
                :param X: [X1, X2, X3]
                :param p: [p1,p2,p3]
                :return: m = m1*p1+m2*p2+...
                '''
                m = 0
                for i in range(len(self.X)):
                    m+= self.X[i].shape[1]*(self.p[i]+1)
                return m

            def coordinate(v,deg):
                '''
                :param v: vector
                :param deg: chebyshev degree polynom
                :return:column with chebyshev value of coordiate vector
                '''
                c = np.ndarray(shape=(self.n,1), dtype = float)
                for i in range(self.n):
                    c[i,0] = self.poly_f(deg, v[i])
                return c

            def vector(vec, p):
                '''
                :param vec: it is X that consist of X11, X12, ... vectors
                :param p: max degree for chebyshev polynom
                :return: part of matrix A for vector X1
                '''
                n, m = vec.shape
                a = np.ndarray(shape=(n,0),dtype = float)
                for j in range(m):
                    for i in range(p):
                        ch = coordinate(vec[:,j],i)
                        a = np.append(a,ch,1)
                return a

            #k = mA()
            A = np.ndarray(shape = (self.n,0),dtype =float)
            for i in range(len(self.X)):
                vec = vector(self.X[i],self.p[i])
                A = np.append(A, vec,1)
            self.A = np.matrix(A)

        def lamb(self):
            lamb = np.ndarray(shape = (self.A.shape[1],0), dtype = float)
            for i in range(self.deg[3]):
                if self.splitted_lambdas:
                    boundary_1 = self.p[0] * self.deg[0]
                    boundary_2 = self.p[1] * self.deg[1] + boundary_1
                    lamb1 = self._minimize_equation(self.A[:, :boundary_1], self.B[:, i])
                    lamb2 = self._minimize_equation(self.A[:, boundary_1:boundary_2], self.B[:, i])
                    lamb3 = self._minimize_equation(self.A[:, boundary_2:], self.B[:, i])
                    lamb = np.append(lamb, np.concatenate((lamb1, lamb2, lamb3)), axis=1)
                else:
                    lamb = np.append(lamb, self._minimize_equation(self.A, self.B[:, i]), axis=1)
            self.Lamb = np.matrix(lamb) #Lamb in full events

        def psi(self):
            def built_psi(lamb):
                '''
                return matrix xi1 for b1 as matrix
                :param A:
                :param lamb:
                :param p:
                :return: matrix psi, for each Y
                '''
                psi = np.ndarray(shape=(self.n, self.mX), dtype = float)
                q = 0 #iterator in lamb and A
                l = 0 #iterator in columns psi
                for k in range(len(self.X)): # choose X1 or X2 or X3
                    for s in range(self.X[k].shape[1]):# choose X11 or X12 or X13
                        for i in range(self.X[k].shape[0]):
                                psi[i,l] = self.A[i,q:q+self.p[k]]*lamb[q:q+self.p[k], 0]
                        q+=self.p[k]
                        l+=1
                return np.matrix(psi)

            self.Psi = [] #as list because psi[i] is matrix(not vector)
            for i in range(self.deg[3]):
                self.Psi.append(built_psi(self.Lamb[:,i]))

        def built_a(self):
            self.a = np.ndarray(shape=(self.mX,0), dtype=float)
            for i in range(self.deg[3]):
                a1 = self._minimize_equation(self.Psi[i][:, :self.degf[0]], self.Y[:, i])
                a2 = self._minimize_equation(self.Psi[i][:, self.degf[0]:self.degf[1]], self.Y[:, i])
                a3 = self._minimize_equation(self.Psi[i][:, self.degf[1]:], self.Y[:, i])
                # temp = self._minimize_equation(self.Psi[i], self.Y[:, i])
                # self.a = np.append(self.a, temp, axis=1)
                self.a = np.append(self.a, np.vstack((a1, a2, a3)),axis = 1)

        def built_F1i(self, psi, a):
                '''
                not use; it used in next function
                :param psi: matrix psi (only one
                :param a: vector with shape = (6,1)
                :param degf:  = [3,4,6]//fibonachi of deg
                :return: matrix of (three) components with F1 F2 and F3
                '''
                m = len(self.X) # m  = 3
                F1i = np.ndarray(shape = (self.n,m),dtype = float)
                k = 0 #point of begining columnt to multipy
                for j in range(m): # 0 - 2
                    for i in range(self.n): # 0 - 49
                        F1i[i,j] = psi[i,k:self.degf[j]]*a[k:self.degf[j],0]
                    k = self.degf[j]
                return np.matrix(F1i)

        def built_Fi(self):
            self.Fi = []
            for i in range(self.deg[3]):
                self.Fi.append(self.built_F1i(self.Psi[i],self.a[:,i]))

        def built_c(self):
            self.c = np.ndarray(shape = (len(self.X),0),dtype = float)
            for i in range(self.deg[3]):
                self.c = np.append(self.c, conjugate_gradient_method(self.Fi[i].T*self.Fi[i], self.Fi[i].T*self.Y[:,i],self.eps),\
                              axis = 1)

        def built_F(self):
            F = np.ndarray(self.Y.shape, dtype = float)
            for j in range(F.shape[1]):#2
                for i in range(F.shape[0]): #50
                    F[i,j] = self.Fi[j][i,:]*self.c[:,j]
            self.F = np.matrix(F)
            self.norm_error = []
            for i in range(self.Y.shape[1]):
                self.norm_error.append(np.linalg.norm(self.Y[:,i] - self.F[:,i],np.inf))

        def built_F_(self):
            minY = self.Y_.min(axis=0)
            maxY = self.Y_.max(axis=0)
            self.F_ = np.multiply(self.F,maxY - minY) + minY
            self.error = []
            for i in range(self.Y_.shape[1]):
                self.error.append(np.linalg.norm(self.Y_[:,i] - self.F_[:,i],np.inf))

        def save_to_file(self):
            wb = Workbook()
            #get active worksheet
            ws = wb.active

            l = [None]

            ws.append(['Введенные данные: X'])
            for i in range(self.n):
                 ws.append(l+self.datas[i,:self.degf[3]].tolist()[0])
            ws.append([])

            ws.append(['Введенные данные: Y'])
            for i in range(self.n):
                 ws.append(l+self.datas[i,self.degf[2]:self.degf[3]].tolist()[0])
            ws.append([])

            ws.append(['X нормализованные:'])
            for i in range(self.n):
                 ws.append(l+self.data[i,:self.degf[2]].tolist()[0])
            ws.append([])
            ws.append(['Y нормализованные:'])
            for i in range(self.n):
                 ws.append(l+self.data[i,self.degf[2]:self.degf[3]].tolist()[0])
            ws.append([])


            ws.append(['матр B:'])
            for i in range(self.n):
                 ws.append(l+self.B[i].tolist()[0])
            ws.append([])

            ws.append(['матр A:'])
            for i in range(self.A.shape[0]):
                 ws.append(l+self.A[i].tolist()[0])
            ws.append([])

            ws.append(['матр Lambda:'])
            for i in range(self.Lamb.shape[0]):
                 ws.append(l+self.Lamb[i].tolist()[0])
            ws.append([])

            for j in range(len(self.Psi)):
                 s = 'матр Psi%i:' %(j+1)
                 ws.append([s])
                 for i in range(self.n):
                     ws.append(l+self.Psi[j][i].tolist()[0])
                 ws.append([])

            ws.append(['матр a:'])
            for i in range(self.mX):
                 ws.append(l+self.a[i].tolist()[0])
            ws.append([])

            for j in range(len(self.Fi)):
                 s = 'Матр Ф%i:' %(j+1)
                 ws.append([s])
                 for i in range(self.Fi[j].shape[0]):
                     ws.append(l+self.Fi[j][i].tolist()[0])
                 ws.append([])

            ws.append(['матр c:'])
            for i in range(len(self.X)):
                 ws.append(l+self.c[i].tolist()[0])
            ws.append([])

            ws.append(['Y перестроенное нормализованное :'])
            for i in range(self.n):
                 ws.append(l+self.F[i].tolist()[0])
            ws.append([])

            ws.append(['Y перестроенное :'])
            for i in range(self.n):
                 ws.append(l+self.F_[i].tolist()[0])
            ws.append([])

            ws.append(['Нормализовная невязка (Y -Ф)'])
            ws.append(l + self.norm_error)

            ws.append(['невязка (Y_ - Ф_))'])
            ws.append(l+self.error)

            wb.save(self.filename_output)
```

```
def show(self):
    text = []

    text.append('Вводные данные: X')
    text.append(tb(np.array(self.datas[:, :self.degf[2]])))

    text.append('\nВводные данные: Y')
    text.append(tb(np.array(self.datas[:,self.degf[2]:self.degf[3]])))

    text.append('\nX нормализованный:')
    text.append(tb(np.array(self.data[:,:self.degf[2]])))

    text.append('\nY нормализованный:')
    text.append(tb(np.array(self.data[:,self.degf[2]:self.degf[3]])))

    text.append('\nматрица B:')
    text.append(tb(np.array(self.B)))

    text.append('\nматрица A:')
    text.append(tb(np.array(self.A)))

    text.append('\nматрица Lambda:')
    text.append(tb(np.array(self.Lamb)))

    for j in range(len(self.Psi)):
        s = '\nматрица Psi%i:' %(j+1)
        text.append(s)
        text.append(tb(np.array(self.Psi[j])))

    text.append('\nматрица a:')
    text.append(tb(self.a.tolist()))

    for j in range(len(self.Fi)):
        s = '\nматрица Ф%i:' %(j+1)
        text.append(s)
        text.append(tb(np.array(self.Fi[j])))

    text.append('\nматрица c:')
    text.append(tb(np.array(self.c)))

    text.append('\nY перестроенное нормализованное :')
    text.append(tb(np.array(self.F)))

    text.append('\nY перестроенное :')
    text.append(tb(self.F_.tolist()))

    text.append('\nНормализованная невязка (Y - Ф)')
    text.append(tb([self.norm_error]))

    text.append('\nНевязка (Y_ - Ф_))')
    text.append(tb([self.error]))

    return '\n'.join(text)

def prepare(self):
    self.define_data()
    self.norm_data()
    self.define_norm_vectors()
    self.built_B()
    self.poly_func()
    self.built_A()
    self.lamb()
```

```
        self.psi()
        self.built_a()
        self.built_Fi()
        self.built_c()
        self.built_F()
        self.built_F_()
        self.save_to_file()
```

system_solve.py

```
__author__ = 'KA_41_1'
import numpy as np

def conjugate_gradient_method(A, b, eps):
    '''
    Conjugate Gradient Method that solve equation Ax = b with given accuracy
    :param A:matrix A
    :param b:vector b
    :param eps: accuracy
    :return: solution x
    '''
    n = len(A.T) # number column
    xi1 = xi = np.zeros(shape=(n,1), dtype = float)
    vi = ri = b # start condition
    i = 0 #loop for number iteration
    while True:
        try:
            i+= 1
            ai = float(vi.T*ri)/float(vi.T*A*vi) # alpha i
            xi1 = xi+ai*vi # x i+1
            ri1 = ri-ai*A*vi # r i+1
            betai = -float(vi.T*A*ri1)/float(vi.T*A*vi) # beta i
            vi1 = ri1+betai*vi
            if (np.linalg.norm(ri1)<eps) or i > 10 * n:
                break
            else:
                xi,vi,ri = xi1,vi1,ri1
        except Exception:
            print("problem with minimization")
    return np.matrix(xi1)
```

main_window.ui

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<ui version="4.0">
 <class>Form</class>
 <widget class="QWidget" name="Form">
  <property name="geometry">
   <rect>
    <x>0</x>
    <y>0</y>
    <width>650</width>
    <height>733</height>
   </rect>
  </property>
  <property name="windowTitle">
   <string>Form1</string>
  </property>
  <layout class="QGridLayout" name="gridLayout_2">
   <item row="2" column="2">
    <widget class="QGroupBox" name="groupBox_2">
     <property name="sizePolicy">
      <sizepolicy hsizetype="Fixed" vsizetype="Preferred">
  <horstretch>0</horstretch>
  <verstretch>0</verstretch>
 </sizepolicy>
</property>
<property name="title">
 <string>Dimensions</string>
</property>
<layout class="QGridLayout" name="gridLayout_3">
 <item row="1" column="1">
  <widget class="QSpinBox" name="x1_dim">
   <property name="value">
    <number>2</number>
   </property>
  </widget>
 </item>
 <item row="1" column="0">
  <widget class="QLabel" name="label_2">
   <property name="text">
    <string>X1</string>
   </property>
   <property name="alignment">
    <set>Qt::AlignRight|Qt::AlignTrailing|Qt::AlignVCenter</set>
   </property>
  </widget>
 </item>
 <item row="2" column="1">
  <widget class="QSpinBox" name="x2_dim">
   <property name="value">
    <number>2</number>
   </property>
  </widget>
 </item>
 <item row="2" column="0">
  <widget class="QLabel" name="label_3">
   <property name="text">
    <string>X2</string>
   </property>
   <property name="alignment">
    <set>Qt::AlignRight|Qt::AlignTrailing|Qt::AlignVCenter</set>
   </property>
  </widget>
 </item>
 <item row="2" column="2">
  <widget class="QLabel" name="label_5">
   <property name="text">
    <string>X3</string>
   </property>
   <property name="alignment">
    <set>Qt::AlignRight|Qt::AlignTrailing|Qt::AlignVCenter</set>
   </property>
  </widget>
 </item>
 <item row="1" column="2">
  <widget class="QLabel" name="label_4">
   <property name="text">
    <string>Y</string>
   </property>
   <property name="alignment">
    <set>Qt::AlignRight|Qt::AlignTrailing|Qt::AlignVCenter</set>
   </property>
  </widget>
 </item>
 <item row="2" column="3">
```

```
    <widget class="QSpinBox" name="x3_dim">
     <property name="value">
      <number>3</number>
     </property>
    </widget>
   </item>
   <item row="1" column="3">
    <widget class="QSpinBox" name="y_dim">
     <property name="value">
      <number>4</number>
     </property>
    </widget>
   </item>
  </layout>
 </widget>
</item>
<item row="2" column="3">
 <widget class="QGroupBox" name="groupBox_6">
  <property name="title">
   <string>Processing</string>
  </property>
  <layout class="QHBoxLayout" name="horizontalLayout_2">
   <item>
    <widget class="QPushButton" name="plot_button">
     <property name="text">
      <string>Plot</string>
     </property>
    </widget>
   </item>
   <item>
    <widget class="QPushButton" name="exec_button">
     <property name="text">
      <string>Execute</string>
     </property>
     <property name="default">
      <bool>true</bool>
     </property>
     <property name="flat">
      <bool>false</bool>
     </property>
    </widget>
   </item>
  </layout>
 </widget>
</item>
<item row="6" column="0" rowspan="2" colspan="6">
 <widget class="QTextBrowser" name="results_field">
  <property name="lineWrapMode">
   <enum>QTextEdit::NoWrap</enum>
  </property>
  <property name="readOnly">
   <bool>true</bool>
  </property>
  <property name="html">
   <string>&lt;!DOCTYPE HTML PUBLIC &quot;-//W3C//DTD HTML 4.0//EN&quot;
&quot;http://www.w3.org/TR/REC-html40/strict.dtd&quot;&gt;
&lt;html&gt;&lt;head&gt;&lt;meta name=&quot;qrichtext&quot; content=&quot;1&quot; /&gt;&lt;style
type=&quot;text/css&quot;&gt;
p, li { white-space: pre-wrap; }
&lt;/style&gt;&lt;/head&gt;&lt;body style=&quot; font-family:'Ubuntu'; font-size:11pt; font-weight:400; font-
style:normal;&quot;&gt;
```

```
&lt;p style=&quot;-qt-paragraph-type:empty; margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px; margin-right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px; font-family:'.Menio Regular'; font-size:10pt;&quot;&gt;&lt;br /&gt;&lt;/p&gt;&lt;/body&gt;&lt;/html&gt;</string>
      </property>
      <property name="placeholderText">
       <string>Results are shown here</string>
      </property>
     </widget>
    </item>
    <item row="0" column="4">
     <widget class="QGroupBox" name="groupBox_5">
      <property name="title">
       <string>Polynomials</string>
      </property>
      <layout class="QHBoxLayout" name="horizontalLayout">
       <item>
        <widget class="QGroupBox" name="groupBox_4">
         <property name="title">
          <string>Degreees</string>
         </property>
         <layout class="QGridLayout" name="gridLayout_4">
          <item row="0" column="0">
           <widget class="QLabel" name="label_6">
            <property name="text">
             <string>X1</string>
            </property>
            <property name="alignment">
             <set>Qt::AlignRight|Qt::AlignTrailing|Qt::AlignVCenter</set>
            </property>
           </widget>
          </item>
          <item row="2" column="1">
           <widget class="QSpinBox" name="x3_deg">
            <property name="value">
             <number>4</number>
            </property>
           </widget>
          </item>
          <item row="1" column="0">
           <widget class="QLabel" name="label_8">
            <property name="text">
             <string>X2</string>
            </property>
            <property name="alignment">
             <set>Qt::AlignRight|Qt::AlignTrailing|Qt::AlignVCenter</set>
            </property>
           </widget>
          </item>
          <item row="0" column="1">
           <widget class="QSpinBox" name="x1_deg">
            <property name="value">
             <number>7</number>
            </property>
           </widget>
          </item>
          <item row="1" column="1">
           <widget class="QSpinBox" name="x2_deg">
            <property name="value">
             <number>7</number>
            </property>
           </widget>
          </item>
          <item row="2" column="0">
           <widget class="QLabel" name="label_7">
            <property name="text">
             <string>X3</string>
            </property>
            <property name="alignment">
             <set>Qt::AlignRight|Qt::AlignTrailing|Qt::AlignVCenter</set>
            </property>
           </widget>
          </item>
         </layout>
        </widget>
       </item>
      </layout>
     </widget>
    </item>
    <item row="0" column="0" colspan="3">
     <widget class="QGroupBox" name="groupBox">
      <property name="autoFillBackground">
       <bool>false</bool>
      </property>
      <property name="title">
       <string>Data</string>
      </property>
      <layout class="QGridLayout" name="gridLayout_5">
       <item row="2" column="1">
        <widget class="QToolButton" name="select_output">
         <property name="text">
          <string>...</string>
         </property>
        </widget>
       </item>
       <item row="0" column="1">
        <widget class="QSpinBox" name="sample_spin">
         <property name="maximum">
          <number>999</number>
         </property>
         <property name="value">
          <number>45</number>
         </property>
        </widget>
       </item>
       <item row="1" column="1">
        <widget class="QToolButton" name="select_input">
         <property name="text">
          <string>...</string>
         </property>
        </widget>
       </item>
       <item row="1" column="0">
        <widget class="QLineEdit" name="line_input">
         <property name="placeholderText">
          <string>Input file</string>
         </property>
        </widget>
       </item>
       <item row="0" column="0">
        <widget class="QLabel" name="label">
         <property name="text">
          <string>Number of samples:</string>
         </property>
        </widget>
       </item>
       <item row="2" column="0">
```

```
    <widget class="QLineEdit" name="line_output">
     <property name="placeholderText">
      <string>Output file</string>
     </property>
    </widget>
   </item>
  </layout>
 </widget>
</item>
<item row="0" column="3">
 <widget class="QGroupBox" name="groupBox_3">
  <property name="title">
   <string>Types</string>
  </property>
  <layout class="QVBoxLayout" name="verticalLayout">
   <item>
    <widget class="QRadioButton" name="radio_cheb1">
     <property name="text">
      <string>Chebyshev</string>
     </property>
     <property name="checked">
      <bool>true</bool>
     </property>
    </widget>
   </item>
   <item>
    <widget class="QRadioButton" name="radio_legend">
     <property name="text">
      <string>Legendre</string>
     </property>
    </widget>
   </item>
   <item>
    <widget class="QRadioButton" name="radio_lagg">
     <property name="text">
      <string>Laguerre</string>
     </property>
    </widget>
   </item>
   <item>
    <widget class="QRadioButton" name="radio_herm">
     <property name="text">
      <string>Hermit</string>
     </property>
    </widget>
   </item>
   <item>
    <widget class="QRadioButton" name="radio_cheb2">
     <property name="text">
      <string>Chebyshev II</string>
     </property>
    </widget>
   </item>
  </layout>
 </widget>
</item>
<item row="2" column="4">
 <widget class="QGroupBox" name="groupBox_7">
  <property name="title">
   <string>Additional</string>
  </property>
  <layout class="QHBoxLayout" name="horizontalLayout_3">
   <item>
```

```
      <widget class="QLabel" name="label_9">
       <property name="text">
        <string>Weights:</string>
       </property>
      </widget>
     </item>
     <item>
      <widget class="QComboBox" name="weights_box">
       <item>
        <property name="text">
         <string>Average</string>
        </property>
       </item>
       <item>
        <property name="text">
         <string>Scaled</string>
        </property>
       </item>
      </widget>
     </item>
    </layout>
   </widget>
  </item>
  <item row="1" column="4">
   <widget class="QCheckBox" name="lambda_check">
    <property name="text">
     <string>Use 3-block lambda calculation</string>
    </property>
   </widget>
  </item>
 </layout>
</widget>
<tabstops>
 <tabstop>radio_cheb1</tabstop>
 <tabstop>radio_cheb2</tabstop>
 <tabstop>radio_legend</tabstop>
 <tabstop>radio_lagg</tabstop>
 <tabstop>radio_herm</tabstop>
 <tabstop>x1_deg</tabstop>
 <tabstop>x2_deg</tabstop>
 <tabstop>x3_deg</tabstop>
 <tabstop>x1_dim</tabstop>
 <tabstop>x2_dim</tabstop>
 <tabstop>sample_spin</tabstop>
 <tabstop>line_input</tabstop>
 <tabstop>select_input</tabstop>
 <tabstop>line_output</tabstop>
 <tabstop>select_output</tabstop>
 <tabstop>exec_button</tabstop>
 <tabstop>results_field</tabstop>
</tabstops>
<resources/>
<connections>
 <connection>
  <sender>exec_button</sender>
  <signal>clicked()</signal>
  <receiver>Form</receiver>
  <slot>exec_clicked()</slot>
  <hints>
   <hint type="sourcelabel">
    <x>379</x>
    <y>219</y>
   </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>plot_button</sender>
 <signal>clicked()</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>plot_clicked()</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>526</x>
   <y>219</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>sample_spin</sender>
 <signal>valueChanged(int)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>samples_modified(int)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>568</x>
   <y>53</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>select_input</sender>
 <signal>clicked()</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>input_clicked()</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>557</x>
   <y>95</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>select_output</sender>
 <signal>clicked()</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>output_clicked()</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>557</x>
   <y>136</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>x1_dim</sender>
 <signal>valueChanged(int)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>dimension_modified(int)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>361</x>
   <y>44</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>x2_dim</sender>
 <signal>valueChanged(int)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>dimension_modified(int)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>361</x>
   <y>78</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>x3_dim</sender>
 <signal>valueChanged(int)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>dimension_modified(int)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>361</x>
   <y>112</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>x1_deg</sender>
 <signal>valueChanged(int)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>degree_modified(int)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>227</x>
   <y>81</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>x2_deg</sender>
 <signal>valueChanged(int)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>degree_modified(int)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>227</x>
   <y>131</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>x3_deg</sender>
 <signal>valueChanged(int)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>degree_modified(int)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>244</x>
   <y>133</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>radio_cheb1</sender>
 <signal>toggled(bool)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>type_modified(bool)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>86</x>
   <y>78</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>radio_cheb2</sender>
 <signal>toggled(bool)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>type_modified(bool)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
```

```
   <x>86</x>
   <y>78</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>radio_herm</sender>
 <signal>toggled(bool)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>type_modified(bool)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>86</x>
   <y>186</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>radio_lagg</sender>
 <signal>toggled(bool)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>type_modified(bool)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>86</x>
   <y>150</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>radio_legend</sender>
 <signal>toggled(bool)</signal>
 <receiver>Form</receiver>
 <slot>type_modified(bool)</slot>
 <hints>
  <hint type="sourcelabel">
   <x>86</x>
   <y>114</y>
  </hint>
  <hint type="destinationlabel">
   <x>309</x>
   <y>199</y>
  </hint>
 </hints>
</connection>
<connection>
 <sender>Form</sender>
 <signal>output_changed(QString)</signal>
 <receiver>line_output</receiver>
 <slot>setText(QString)</slot>
 <hints>
```

```
    <hint type="sourcelabel">
     <x>309</x>
     <y>199</y>
    </hint>
    <hint type="destinationlabel">
     <x>483</x>
     <y>136</y>
    </hint>
   </hints>
  </connection>
  <connection>
   <sender>Form</sender>
   <signal>input_changed(QString)</signal>
   <receiver>line_input</receiver>
   <slot>setText(QString)</slot>
   <hints>
    <hint type="sourcelabel">
     <x>309</x>
     <y>199</y>
    </hint>
    <hint type="destinationlabel">
     <x>483</x>
     <y>95</y>
    </hint>
   </hints>
  </connection>
  <connection>
   <sender>line_input</sender>
   <signal>textChanged(QString)</signal>
   <receiver>Form</receiver>
   <slot>input_modified(QString)</slot>
   <hints>
    <hint type="sourcelabel">
     <x>483</x>
     <y>95</y>
    </hint>
    <hint type="destinationlabel">
     <x>309</x>
     <y>199</y>
    </hint>
   </hints>
  </connection>
  <connection>
   <sender>line_output</sender>
   <signal>textChanged(QString)</signal>
   <receiver>Form</receiver>
   <slot>output_modified(QString)</slot>
   <hints>
    <hint type="sourcelabel">
     <x>483</x>
     <y>136</y>
    </hint>
    <hint type="destinationlabel">
     <x>309</x>
     <y>199</y>
    </hint>
   </hints>
  </connection>
  <connection>
   <sender>lambda_check</sender>
   <signal>toggled(bool)</signal>
   <receiver>Form</receiver>
   <slot>lambda_calc_method_changed(bool)</slot>
   <hints>
    <hint type="sourcelabel">
     <x>301</x>
     <y>219</y>
    </hint>
    <hint type="destinationlabel">
     <x>309</x>
     <y>199</y>
    </hint>
   </hints>
  </connection>
  <connection>
   <sender>weights_box</sender>
   <signal>currentIndexChanged(QString)</signal>
   <receiver>Form</receiver>
   <slot>weights_modified(QString)</slot>
   <hints>
    <hint type="sourcelabel">
     <x>136</x>
     <y>220</y>
    </hint>
    <hint type="destinationlabel">
     <x>309</x>
     <y>199</y>
    </hint>
   </hints>
  </connection>
  <connection>
   <sender>y_dim</sender>
   <signal>valueChanged(int)</signal>
   <receiver>Form</receiver>
   <slot>dimension_modified(int)</slot>
   <hints>
    <hint type="sourcelabel">
     <x>378</x>
     <y>146</y>
    </hint>
    <hint type="destinationlabel">
     <x>311</x>
     <y>299</y>
    </hint>
   </hints>
  </connection>
 </connections>
 <slots>
  <signal>input_changed(QString)</signal>
  <signal>output_changed(QString)</signal>
  <signal>x1_dim_changed(int)</signal>
  <signal>x2_dim_changed(int)</signal>
  <signal>x3_dim_changed(int)</signal>
  <signal>x1_deg_changed(int)</signal>
  <signal>x2_deg_changed(int)</signal>
  <signal>x3_deg_changed(int)</signal>
  <signal>type_cheb()</signal>
  <signal>type_lege()</signal>
  <signal>type_lagg()</signal>
  <signal>type_herm()</signal>
  <slot>input_clicked()</slot>
  <slot>output_clicked()</slot>
  <slot>samples_modified(int)</slot>
  <slot>dimension_modified(int)</slot>
  <slot>degree_modified(int)</slot>
  <slot>type_modified(bool)</slot>
```

```
  <slot>plot_clicked()</slot>
  <slot>exec_clicked()</slot>
  <slot>input_modified(QString)</slot>
  <slot>output_modified(QString)</slot>
  <slot>weights_modified(QString)</slot>
  <slot>lambda_calc_method_changed(bool)</slot>
 </slots>
</ui>
```