Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут комп’ютерних наук та інформаційних технологій
Кафедра програмного забезпечення

ЗВІТ

Про виконання лабораторної роботи № 3

«РОЗВ’ЯЗУВАННЯ СИСТЕМ ЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ МЕТОДОМ КРАМЕРА ТА МЕТОДОМ ОБЕРНЕНОЇ МАТРИЦІ»

з дисципліни «Чисельні методи»

Лектор:
доцент кафедри ПЗ
Мельник Н.Б.

Виконав:
студ. групи ПЗ-15
Бабіля О.О.

Прийняв:
асистент кафедри ПЗ
Гарматій Г.Ю.

«___» ______ 2022 р.

∑ = ____ ___________

Львів – 2022

Мета: ознайомлення на практиці з методом Крамера та методом оберненої матриці розв’язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Теоретичні відомості:

Системи лінійних алгебраїчних рівнянь

Математичні моделі багатьох процесів зводяться до розв’язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР). Розв’язати деякі нелінійні задачі можна послідовним розвязуванням систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Прямі (точні) методи дають змогу розв’язати систему лінійних алгебраїчних рівнянь за скінченну кількість арифметичних операцій. Якщо всі операції виконують точно (без похибок заокруглення), то розв’язок заданої системи також отримують точним. До прямих методів належать: метод Крамера, метод оберненої матриці, метод Гауса та його модифікації, метод прогонки, метод LU-розкладу та його частковий випадок - метод квадратного кореня, метод ортогоналізації.

Систему лінійних алгебраїчних рівнянь записують у розгорнутій формі

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n = b_m \end{cases} \quad (4.1)$$

або у скороченому вигляді

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j = b_i, \qquad i = \overline{1,m}, \quad (4.2)$$

або у матричній формі

$$A \cdot X = B, \quad (4.3)$$

де

$$A=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix},\quad \overline{X}=\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix},\quad \overline{B}=\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{pmatrix},$$

A- прямокутна матриця коефіцієнтів системи розмірності $m \times n$; X - вектор-стовпець невідомих розмірності n; B - вектор-стовпець вільних членів розмірності m .

Розв'язком системи (4.1; 4.2; 4.3) називають *n*-компонентний вектор-стовпець $\overline{X}$, який перетворює співвідношення (4.1; 4.2; 4.3) у правильну числову тотожність.

Система лінійних алгебраїчних рівнянь може мати один розв'язок, безліч або не мати жодного. Кількість невідомих m в системі називають порядком СЛАР.

Якщо система має хоча б один розв'язок, то її називають ***сумісною***, і ***несумісною***, якщо не має жодного.

Сумісна система називається ***визначеною***, якщо вона має єдиний розв'язок, і ***невизначеною***, якщо вона має безліч розв'язків. СЛАР є ***невиродженою***, якщо визначник системи $\det A \neq 0$. У випадку, коли визначник системи $\det A = 0$, СЛАР є ***виродженою.***

Якщо всі вільні члени $b_i = 0\,(i=\overline{1,m})$, то СЛАР називають ***однорідною***. Однорідна система має завжди ***тривіальний*** розв'язок $x_i = 0 \ \ (i=\overline{1,n})$.

Систему лінійних алгебраїчних рівнянь розв'язують числовими методами лише у тому випадку, коли вона є сумісною, визначеною та невиродженою.

Метод Крамера:

Розглянемо СЛАР, яка містить n рівнянь та n невідомих, причому визначник її не дорівнює нулеві. Для знаходження невідомих x_i застосовують формули Крамера:

$$x_i = \frac{\det A_i}{\det A}, \quad i = \overline{1,n}, \tag{4.4}$$

де $\det A$ - визначник матриці A, $\det A_i$ - визначник матриці A_i, яку отримують з матриці A шляхом заміни її i-го стовпця стовпцем вільних членів

$$A_i = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1\,i-1} & b_1 & a_{1\,i+1} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2\,i-1} & b_2 & a_{2\,i+1} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{n\,i-1} & b_n & a_{n\,i+1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad i = \overline{1,n}. \tag{4.5}$$

Щоб розв'язати СЛАР з n невідомими потрібно обчислити $(n+1)$ визначників n-го порядку, що приводить до виконання $nn!$ операцій. Через громіздкість обчислень визначників метод Крамера не застосовують на практиці для великої розмірності матриці коефіцієнтів СЛАР.

Метод оберненої матриці(матричний метод)

У лінійній алгебрі часто використовують матричний метод розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Цей метод ґрунтується на обчисленні оберненої матриці A^{-1}, яка існує лише при умові, коли визначник матриці A відмінний від нуля $\det A \neq 0$.

Якщо обидві частини матричного рівняння (4.3) зліва домножити на матрицю A^{-1}, то отримаємо співвідношення

$$A^{-1}AX = A^{-1}B. \tag{4.6}$$

Враховуючи, що добуток оберненої матриці на саму матрицю дає одиничну матрицю

$$A^{-1}A = E, \tag{4.7}$$

а результатом добутку одиничної матриці E на матрицю-стовпець X є матриця-стовпець X, тобто $EX = X$, одержимо матричний розв'язок системи лінійних алгебраїчних рівнянь у вигляді

$$X = A^{-1}B. \tag{4.8}$$

Для знаходження оберненої матриці A^{-1} необхідно застосувати алгоритм, який складається з таких пунктів:

1. Обчислення визначника $\det A$ матриці A коефіцієнтів системи . Якщо він не дорівнює нулеві, то продовжуємо розв'язувати СЛАР. Якщо $\det A = 0$, то матриця A є виродженою і для неї не існує оберненої.
2. Знаходження алгебраїчних доповнень для елементів матриці A. Вони дорівнюють мінорам для відповідних елементів a_{ij} $(i, j = \overline{1,n})$, помноженим на $(-1)^{i+j}$, тобто

$$\overline{A}_{ij} = (-1)^{i+j} M_{ij}, \tag{4.9}$$

   а мінор M_{ij} отримують із матриці A шляхом викреслювання i-го рядка та j-го стовпця.
3. Формування матриці $\overline{A}$, елементами якої є алгебраїчні доповнення матриці A.
4. Транспонування матриці $\overline{A}$ і знаходження приєднаної матриці $\widetilde{A} = \overline{A}^{T}$.
5. Визначення оберненої матриці за формулою

$$A^{-1} = \frac{\widetilde{A}}{\det A}. \tag{4.10}$$

Зауваження. Обчислення для системи із трьох рівнянь не є громіздкими.

Індивідуальне завдання

Скласти програму розв'язування системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом оберненої матриці та методом Крамера.

$$1.\begin{cases}0{,}65x_1-0{,}93x_2+0{,}45x_3=-0{,}72\\1{,}15x_1+0{,}43x_2-0{,}72x_3=1{,}24\\0{,}56x_1-0{,}18x_2+1{,}03x_3=2{,}15\end{cases}$$

Хід роботи:

Метод Крамера:

Запишемо матрицю А та В:

А=

$$\begin{vmatrix}0.65 & -0.93 & 0.45\\1.15 & 0.43 & -0.72\\0.56 & -0.18 & 1.03\end{vmatrix}$$

В=

$$\begin{vmatrix}-0.72\\1.24\\2.25\end{vmatrix}$$

Знайдемо визначник матриці А:

$$\Delta=\begin{vmatrix}0.65 & -0.93 & 0.45\\1.15 & 0.43 & -0.72\\0.56 & -0.18 & 1.03\end{vmatrix}=0.65\cdot0.43\cdot1.03+(-0.93)\cdot(-0.72)\cdot0.56+0.45\cdot1.15\cdot(-0.18)-0.45\cdot0.43\cdot0.56-0.65\cdot$$

$$\cdot(-0.72)\cdot(-0.18)-(-0.93)\cdot1.15\cdot1.03=0.287885+0.374976-0.09315-0.10836-0.08424+1.101585=\frac{184837}{125000}$$

Це приблизно дорівнює 1.478696

Знайдемо визначник матриці А1:

$$\Delta_1=\begin{vmatrix}-0.72 & -0.93 & 0.45\\1.24 & 0.43 & -0.72\\2.25 & -0.18 & 1.03\end{vmatrix}=(-0.72)\cdot0.43\cdot1.03+(-0.93)\cdot(-0.72)\cdot2.25+0.45\cdot1.24\cdot(-0.18)-0.45\cdot0.43\cdot2.25-$$

$$-(-0.72)\cdot(-0.72)\cdot(-0.18)-(-0.93)\cdot1.24\cdot1.03=-0.318888+1.5066-0.10044-0.435375+0.093312+1.187796=$$

$$=\frac{386601}{200000}$$

Це приблизно дорівнює 1.933005

Знайдемо визначник матриці A2:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0.65 & -0.72 & 0.45 \\ 1.15 & 1.24 & -0.72 \\ 0.56 & 2.25 & 1.03 \end{vmatrix} = 0.65\cdot 1.24\cdot 1.03 + (-0.72)\cdot(-0.72)\cdot 0.56 + 0.45\cdot 1.15\cdot 2.25 - 0.45\cdot 1.24\cdot 0.56 - 0.65\cdot$$

$$\cdot(-0.72)\cdot 2.25 - (-0.72)\cdot 1.15\cdot 1.03 = 0.83018 + 0.290304 + 1.164375 - 0.31248 + 1.053 + 0.85284 = \frac{3878219}{1000000}$$

Це приблизно дорівнює 3.878219

Знайдемо визначник матриці A3:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0.65 & -0.93 & -0.72 \\ 1.15 & 0.43 & 1.24 \\ 0.56 & -0.18 & 2.25 \end{vmatrix}$$

$$= 0.65\cdot 0.43\cdot 2.25 + (-0.93)\cdot 1.24\cdot 0.56 + (-0.72)\cdot 1.15\cdot(-0.18) - (-0.72)\cdot 0.43\cdot 0.56 - 0.65\cdot$$

$$\cdot 1.24\cdot(-0.18) - (-0.93)\cdot 1.15\cdot 2.25 = 0.628875 - 0.645792 + 0.14904 + 0.173376 + 0.14508 + 2.406375 = \frac{1428477}{500000}$$

Це приблизно дорівнює 2.856954

Після чого знайдемо розв’язки рівняння:

$$x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{386601/200000}{184837/125000} = \frac{1933005}{1478696}$$

$$x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{3878219/1000000}{184837/125000} = \frac{3878219}{1478696}$$

$$x_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{1428477/500000}{184837/125000} = \frac{1428477}{739348}$$

Отже, x_1= 1.307236, x_2= 2.622729, x_3= 1.932077.

Метод оберненої матриці(матричний метод):

$$\det \mathbf{A} = \begin{vmatrix} 0.65 & -0.93 & 0.45 \\ 1.15 & 0.43 & -0.72 \\ 0.56 & -0.18 & 1.03 \end{vmatrix} = 0.65\cdot 0.43\cdot 1.03 + (-0.93)\cdot(-0.72)\cdot 0.56 + 0.45\cdot 1.15\cdot(-0.18) - 0.45\cdot 0.43\cdot 0.56 -$$

$$- 0.65\cdot(-0.72)\cdot(-0.18) - (-0.93)\cdot 1.15\cdot 1.03 = 0.287885 + 0.374976 - 0.09315 - 0.10836 - 0.08424 + 1.101585 =$$

$$= \frac{184837}{125000}$$

Визначник відмінний від нуля , отже обернена матриця існує

Знайдемо обернену матрицю , для цього знайдемо мінори:

$$M_{11} = \begin{vmatrix} 0.43 & -0.72 \\ -0.18 & 1.03 \end{vmatrix} = 0.43 \cdot 1.03 - (-0.18) \cdot (-0.72) = 0.4429 - 0.1296 = 0.3133$$

$$M_{12} = \begin{vmatrix} 1.15 & -0.72 \\ 0.56 & 1.03 \end{vmatrix} = 1.15 \cdot 1.03 - 0.56 \cdot (-0.72) = 1.1845 + 0.4032 = 1.5877$$

$$M_{13} = \begin{vmatrix} 1.15 & 0.43 \\ 0.56 & -0.18 \end{vmatrix} = 1.15 \cdot (-0.18) - 0.56 \cdot 0.43 = -0.207 - 0.2408 = -0.4478$$

$$M_{21} = \begin{vmatrix} -0.93 & 0.45 \\ -0.18 & 1.03 \end{vmatrix} = (-0.93) \cdot 1.03 - (-0.18) \cdot 0.45 = -0.9579 + 0.081 = -0.8769$$

$$M_{22} = \begin{vmatrix} 0.65 & 0.45 \\ 0.56 & 1.03 \end{vmatrix} = 0.65 \cdot 1.03 - 0.56 \cdot 0.45 = 0.6695 - 0.252 = 0.4175$$

$$M_{23} = \begin{vmatrix} 0.65 & -0.93 \\ 0.56 & -0.18 \end{vmatrix} = 0.65 \cdot (-0.18) - 0.56 \cdot (-0.93) = -0.117 + 0.5208 = 0.4038$$

$$M_{31} = \begin{vmatrix} -0.93 & 0.45 \\ 0.43 & -0.72 \end{vmatrix} = (-0.93) \cdot (-0.72) - 0.43 \cdot 0.45 = 0.6696 - 0.1935 = 0.4761$$

$$M_{32} = \begin{vmatrix} 0.65 & 0.45 \\ 1.15 & -0.72 \end{vmatrix} = 0.65 \cdot (-0.72) - 1.15 \cdot 0.45 = -0.468 - 0.5175 = -0.9855$$

$$M_{33} = \begin{vmatrix} 0.65 & -0.93 \\ 1.15 & 0.43 \end{vmatrix} = 0.65 \cdot 0.43 - 1.15 \cdot (-0.93) = 0.2795 + 1.0695 = 1.349$$

Транспонована матриця:

$$\mathbf{C}^{*T} = \begin{pmatrix} 0.3133 & 0.8769 & 0.4761 \\ -1.5877 & 0.4175 & 0.9855 \\ -0.4478 & -0.4038 & 1.349 \end{pmatrix}$$

Обернена матриця:

$$\mathbf{A}^{-1} = \frac{\mathbf{C}^{*T}}{\det \mathbf{A}} = \begin{pmatrix} \frac{78325}{369674} & \frac{219225}{369674} & \frac{119025}{369674} \\ -\frac{396925}{369674} & \frac{104375}{369674} & \frac{246375}{369674} \\ -\frac{55975}{184837} & -\frac{50475}{184837} & \frac{168625}{184837} \end{pmatrix}$$

Знайдемо розв'язки:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}\cdot\mathbf{B} = \begin{pmatrix} \frac{78325}{369674} & \frac{219225}{369674} & \frac{119025}{369674} \\ -\frac{396925}{369674} & \frac{104375}{369674} & \frac{246375}{369674} \\ -\frac{55975}{184837} & -\frac{50475}{184837} & \frac{168625}{184837} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -0.72 \\ 1.24 \\ 2.25 \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} \frac{78325}{369674}\cdot(-0.72) + \frac{219225}{369674}\cdot 1.24 + \frac{119025}{369674}\cdot 2.25 \\ \left(-\frac{396925}{369674}\right)\cdot(-0.72) + \frac{104375}{369674}\cdot 1.24 + \frac{246375}{369674}\cdot 2.25 \\ \left(-\frac{55975}{184837}\right)\cdot(-0.72) + \left(-\frac{50475}{184837}\right)\cdot 1.24 + \frac{168625}{184837}\cdot 2.25 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{28197}{184837} + \frac{271839}{369674} + \frac{1071225}{1478696} \\ \frac{142893}{184837} + \frac{129425}{369674} + \frac{2217375}{1478696} \\ \frac{40302}{184837} - \frac{62589}{184837} + \frac{1517625}{739348} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1933005}{1478696} \\ \frac{3878219}{1478696} \\ \frac{1428477}{739348} \end{pmatrix}$$

Отже, x_1= 1.307236, x_2= 2.622729, x_3= 1.932077.

Код програми:

Source.c

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <func.h>


int main()
{
	float array[3][4] = {
		{ 0.65, -0.93, 0.45, -0.72 },
		{ 1.15, 0.43, -0.72, 1.24 },
		{ 0.56, -0.18, 1.03, 2.25 }
	};
	printf("System of equations(matrix A) \n");
	showMatrix(array,3,4);
	if (determinant33(array) == 0)
	{
		printf("Determinant = 0, the system does not have any answers\nEnter the new numbers:\n");
		while (determinant33(array) == 0)
		{
			scanf_s("%f %f %f %f", &array[0][0], &array[0][1], &array[0][2], &array[0][3]);
			scanf_s("%f %f %f %f", &array[1][0], &array[1][1], &array[1][2], &array[1][3]);
			scanf_s("%f %f %f %f", &array[2][0], &array[2][1], &array[2][2], &array[2][3]);
		}
	}
	methodKramer(array);
	printf("\n----------------------------------\n");
	methodInverse(array);
}
```

Func.c

```c
#include <stdio.h>
#include <math.h>

float determinant33(float a[3][3])
{
	return a[0][0] * a[1][1] * a[2][2] + a[2][0] * a[0][1] * a[1][2] + a[0][2] * a[1][0]
* a[2][1] - a[2][0] * a[1][1] * a[0][2] - a[0][1] * a[1][0] * a[2][2] - a[0][0] * a[1][2] *
a[2][1];
}
float determinant22(float a[2][2])
{
	return a[0][0] * a[1][1] - a[0][1] * a[1][0];
}
float minor(float A[3][3], int k, int l, float z)
{
	float B[2][2]; int m = 0, n = 0;
	printf("\nMinor %d %d:\n", k, l);
	for (int i = 0; i < 2; i++)
	{
		n = 0;
		if (m == k)i--;
		else
		{
			for (int j = 0; j < 2; j++)
			{
				if (n != l)
				{
					B[i][j] = A[m][n];
					printf("%+2.2f ", B[i][j]);
				}
				else
				j--;
				n++;
			}
			printf("\n");
		}
		m++;
	}
	return pow(-1, k + l + 2) * determinant22(B) / z;
}
void showMatrix(float A[][4], int i, int j)
{
	printf("\n");
	for (int m = 0; m < i; m++)
	{
		for (int n = 0; n < j; n++)
			printf("%2.3f ", A[m][n]);
		printf("\n");
	}
	printf("\n");
}

void multiply(float array[3][3], float a[3][1])
{
	float X[3][1] = {0};
	for (int i = 0; i < 3; i++)
		for (int j = 0; j < 1; j++)
			for (int k = 0; k < 3; k++)
				X[i][j] += array[i][k] * a[k][j];
	a[0][0] = X[0][0];
```

```c
	a[1][0] = X[1][0];
	a[2][0] = X[2][0];
}
void inverse(float A[3][3])
{
	float B[3][3];
	float k = determinant33(A);
	for (int i = 0; i < 3; i++)
		for (int j = 0; j < 3; j++)
			B[j][i] = minor(A, i, j, k);

	printf("\nInverse matrix:\n");
	for (int i = 0; i < 3; i++)
	{
		for (int j = 0; j < 3; j++)
		{
			A[i][j] = B[i][j];
			printf("%+2.2f ", B[i][j]);
		}
		printf("\n");
	}
}
void changeVercticalRow(float A[3][3], float array[3][4], int l)
{
	for (int i = 0; i < 3; i++)
		for (int j = 0; j < 3; j++)
			A[i][j] = (j != l) ? array[i][j] : array[i][3];
}
void methodKramer(float array[3][4])
{
	float A[3][3], A1[3][3], A2[3][3], A3[3][3];
	printf("Kramer method:\n\n");
	changeVercticalRow(A, array, 3);

	printf("Determinant of A=%f\n", determinant33(A));
	changeVercticalRow(A1, array, 0);

	printf("Determinant of A1=%f\n", determinant33(A1));
	changeVercticalRow(A2, array, 1);

	printf("Determinant of A2=%f\n", determinant33(A2));
	changeVercticalRow(A3, array, 2);

	printf("Determinant of A3=%f\n\n", determinant33(A3));

	printf("X1=A1/A=%+2.4f\n", determinant33(A1) / determinant33(A));
	printf("X2=A2/A=%+2.4f\n", determinant33(A2) / determinant33(A));
	printf("X3=A3/A=%+2.4f\n", determinant33(A3) / determinant33(A));
}
void methodInverse(float array[3][4])
{
	printf("\nInverse method:\n");
	float A[3][3], X[3][1];
	changeVercticalRow(A, array, 3);
	inverse(A);
	for (int i = 0; i < 3; i++)
		X[i][0] = array[i][3];
	multiply(A, X);
	printf("\nX1=%f\n", X[0][0]);
	printf("X2=%f\n", X[1][0]);
	printf("X3=%f\n", X[2][0]);}
```

func.h

```
void showMatrix(float [][], int, int);
float determinant33(float [][]);
void methodKramer(float [][]);
void methodInverse(float [3][4]);
```

Вигляд виконаної програми:

```
System of equations(matrix A)

0.650 -0.930 0.450 -0.720
1.150 0.430 -0.720 1.240
0.560 -0.180 1.030 2.250

Kramer method:

Determinant of A=1.478696
Determinant of A1=1.933005
Determinant of A2=3.878219
Determinant of A3=2.856954

X1=A1/A=+1.3072
X2=A2/A=+2.6227
X3=A3/A=+1.9321

----------------------------------

Inverse method:

Minor 0 0:
+0.43 -0.72
-0.18 +1.03

Minor 0 1:
+1.15 -0.72
+0.56 +1.03

Minor 0 2:
+1.15 +0.43
+0.56 -0.18

Minor 1 0:
-0.93 +0.45
-0.18 +1.03

Minor 1 1:
+0.65 +0.45
+0.56 +1.03

Minor 1 2:
+0.65 -0.93
```

```
Minor 2 0:
-0.93 +0.45
+0.43 -0.72

Minor 2 1:
+0.65 +0.45
+1.15 -0.72

Minor 2 2:
+0.65 -0.93
+1.15 +0.43

Inverse matrix:
+0.21 +0.59 +0.32
-1.07 +0.28 +0.67
-0.30 -0.27 +0.91

X1=1.307236
X2=2.622729
X3=1.932077

C:\Users\home\source\repos\ЧМ03 C\Debug\ЧМ03 C.exe (процесс 16284) завершил работу с кодом 0.
```

Висновки:

На даній лабораторній роботі я ознайомився на практиці з методом Крамера та методом оберненої матриці розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Розв'язав СЛАР, згідно до індивідуального завдання:

$$1.\begin{cases} 0{,}65x_1 - 0{,}93x_2 + 0{,}45x_3 = -0{,}72 \\ 1{,}15x_1 + 0{,}43x_2 - 0{,}72x_3 = 1{,}24 \\ 0{,}56x_1 - 0{,}18x_2 + 1{,}03x_3 = 2{,}15 \end{cases}$$

Розв'язками стали x_1= 1.307236, x_2= 2.622729, x_3= 1.932077.