

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО ”**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів та систем

ДИПЛОМНА РОБОТА СПЕЦІАЛІСТА

на тему “Програмне забезпечення моделювання
температурного поля тонкої пластини при
лазерному опроміненні”

Виконала: студентка групи ТР-61С
Кириченко Ірина Юріївна

Керівник: к.т.н.

Михайлова Ірина Юріївна

Мета:

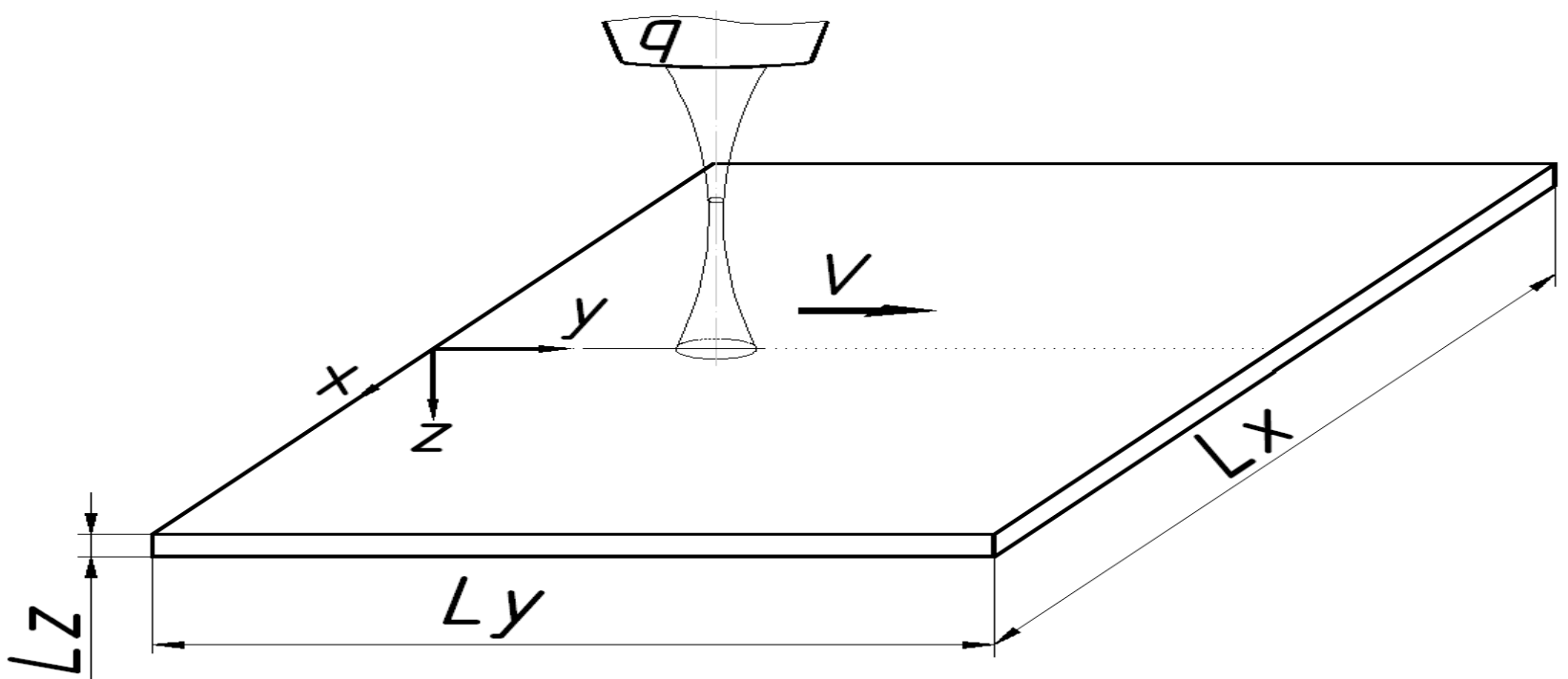
Розробити програмний забезпечення для моделювання температурного поля тонкої металевої пластини при лазерному опроміненні.

Завдання роботи:

- Розробити програмне забезпечення на мові C#.
- Дати можливість користувачу вводити параметри.
- Результат моделювання представити у вигляді таблиць значень температури в кожній точці тривимірного каркасу і у вигляді графіків зі значеннями температур в кожній точці тривимірного каркасу.

Об'єкт моделювання

По одній поверхні пластини рухається один лазерний промінь зі швидкістю V паралельно осі ординат. Для зручності розрахунку будемо вважати, що промінь рухається по верхній грані. Дія лазера викликає на поверхні обробки тепловий потік з розподілом щільності потужності лазерного променя q . Геометричні розміри пластини дорівнюють відповідно L_x , L_y , L_z .



Математична постановка задачі

$$c\rho \frac{\partial U(x, y, z, t)}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 U(x, y, z, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U(x, y, z, t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U(x, y, z, t)}{\partial z^2} \right)$$

c – теплоємність матеріалу;

ρ – густина матеріалу;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

$U(x, y, z, t)$ – температура матеріалу в точці з координатами в момент часу t ;

$x \in [0; L_x], y \in [0; L_y], z \in [0; L_z], t \in [0; T_k], L_x, L_y, L_z$ – геометричні розміри пластини,

T_k – кінцевий час моделювання.

Початкова умова: $U(x, y, z, 0) = U_c$

Крайова умова в зоні впливу лазерного променя:

$$\lambda \frac{\partial U(x, y, 0, t)}{\partial z} + q(x, y, t) = 0$$

Крайові умови поза зоною впливу лазерного променя:

$$\lambda \frac{\partial U(0, y, z, t)}{\partial x} + \alpha[U_c - U(0, y, z, t)] = 0,$$

$$\lambda \frac{\partial U(L_x, y, z, t)}{\partial x} + \alpha[U(L_x, y, z, t) - U_c] = 0,$$

$$\lambda \frac{\partial U(x, 0, z, t)}{\partial y} + \alpha[U_c - U(x, 0, z, t)] = 0,$$

$$\lambda \frac{\partial U(x, L_y, z, t)}{\partial y} + \alpha[U(x, L_y, z, t) - U_c] = 0,$$

Гаусів розподіл

Для моделювання розподілу щільності потужності лазерного променя, що діє на поверхню пластини, використовують Гаусів розподіл:

$$q(x, y) = \frac{2q_{\max}}{\pi R^2} e^{-\frac{2r^2}{R^2}}$$

де r – радіальна відстань (може бути обчислена за формулою:

$$r = \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}, \quad (x_c, y_c) \text{ – центр плями фокусування лазера);}$$

q_{\max} – максимальна потужність лазера;

R – ефективний радіус плями фокусування лазера.

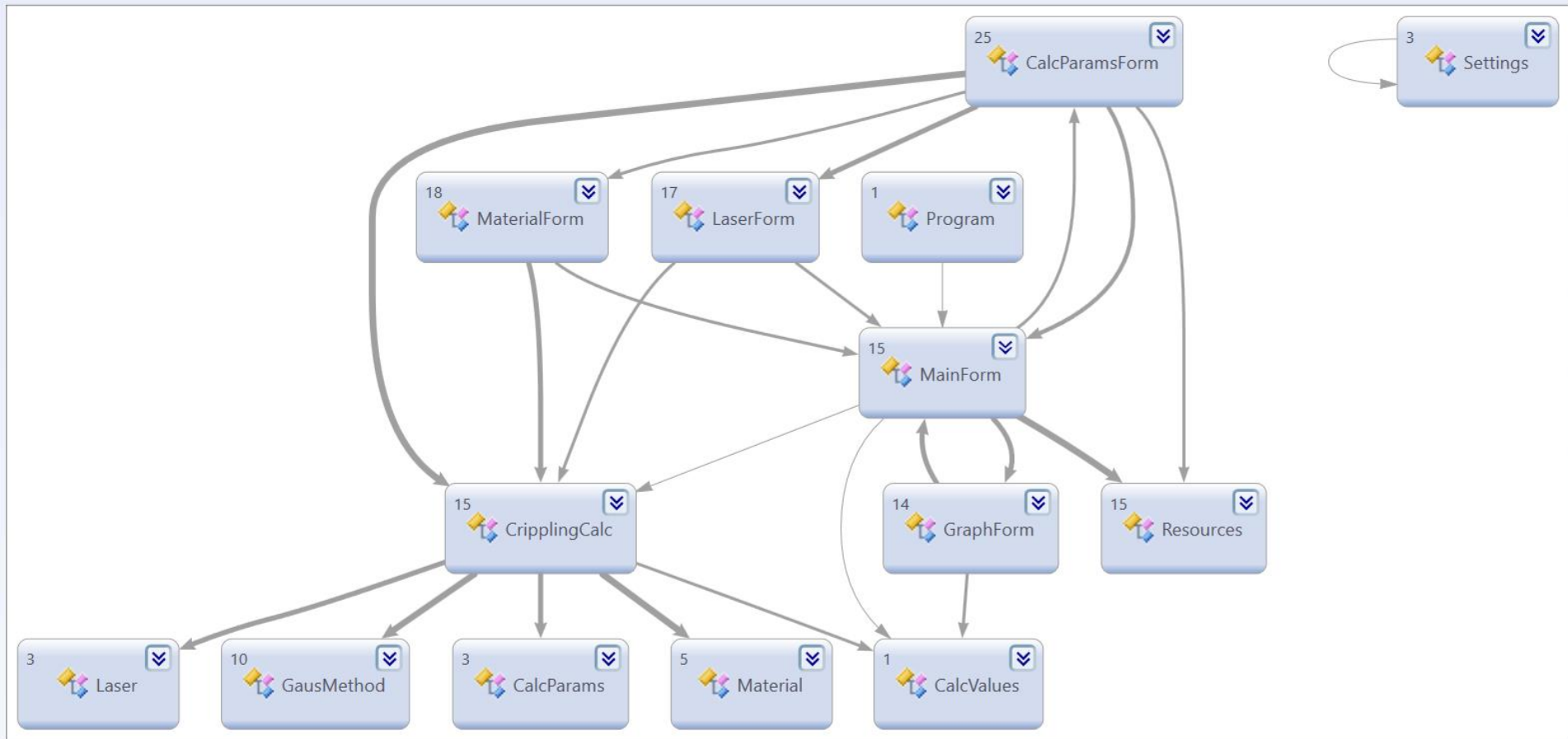
Математичні методи вирішення задачі

Метод скінченних різниць використовується для розв'язування крайової задачі.

Схема покоординатного розщеплення використовується для перетворення диференціального рівняння у частинних похідних на систему алгебричних.

Метод Гауса використовується для вирішення СЛАР на кожному з шести етапів.

Діаграма класів



Опис класів

CalcParams

- ◆ CalcParams
- ◆ GetValue
- ◆ SetValue

Material

- ◆ GetName
- ◆ GetValue
- ◆ Material
- ◆ SetName
- ◆ SetValue

Laser

- ◆ GetValue
- ◆ Laser
- ◆ SetValue

CripplingCalc

- ◆ SetMaterialValue
- ◆ Calculation
- ◆ SetMaterial
- ◆ GetMaterialValue
- ◆ GetParamValue
- ◆ GetLaserValue
- ◆ SetParamValue
- ◆ init
- ◆ GetMaterial
- ◆ SetLaserValue
- ◆ CountMaterials
- ◆ GetMaterialName
- ◆ CripplingCalc
- ◆ ExistMaterial
- ◆ AddMaterial

GraphForm

- ◆ GraphForm
- ◆ InitializeComponent
- ◆ tabPage1_Click
- ◆ dataGridView1_CellContentClick
- ◆ chart1_PostPaint
- ◆ GraphForm_Load
- ◆ GraphForm_Resize
- ◆ GetPointsFrom3D
- ◆ renderLines
- ◆ renderPoints
- ◆ prepare3dChart
- ◆ addTestData
- ◆ AddXY3d
- ◆ Dispose

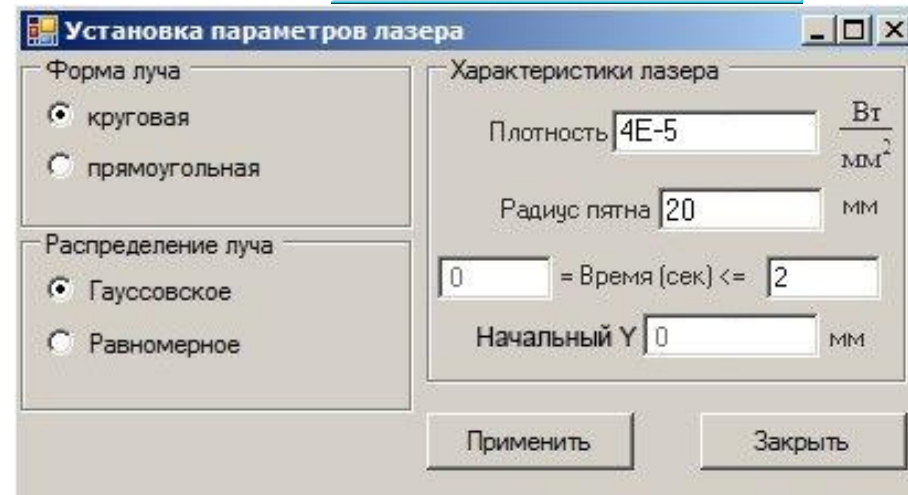
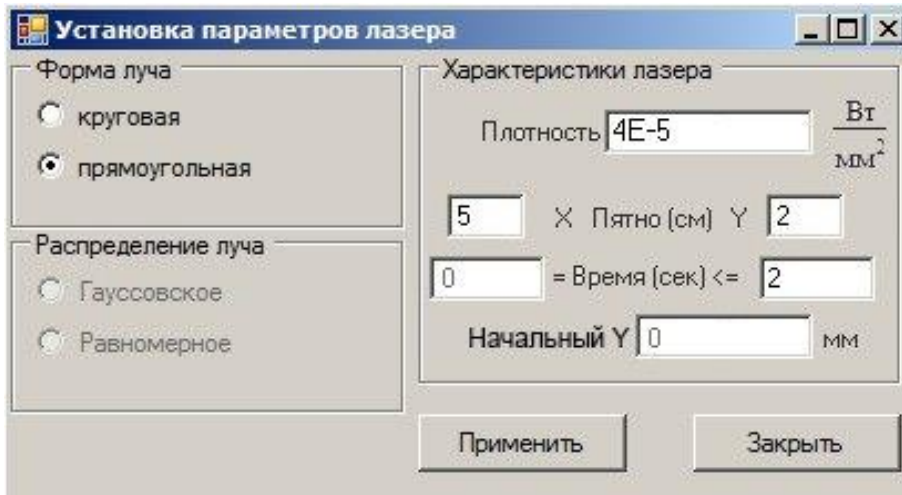
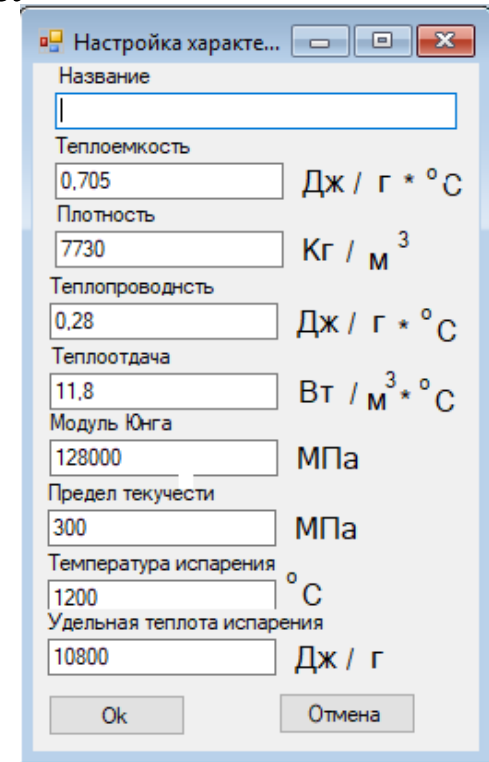
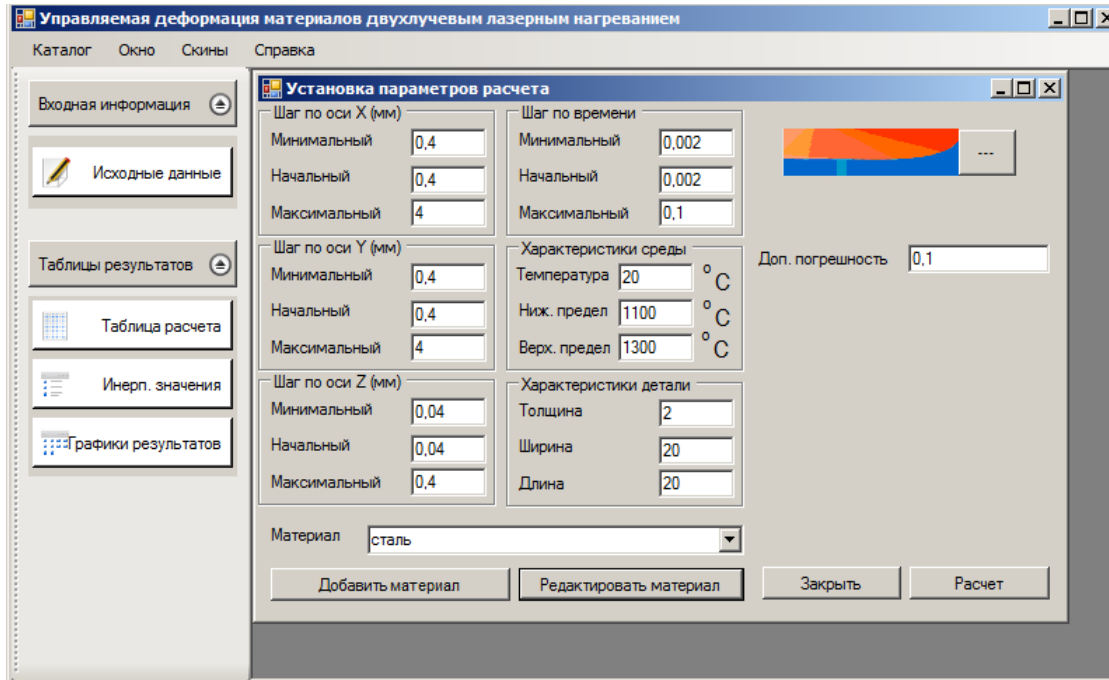
LaserForm

- ◆ InitializeComponent
- ◆ LaserForm_Load
- ◆ button2_Click
- ◆ button1_Click
- ◆ textBox5_TextChanged
- ◆ textBox1_TextChanged
- ◆ groupBox3_Enter
- ◆ radioButton4_CheckedChanged
- ◆ groupBox2_Enter
- ◆ groupBox1_Enter
- ◆ init
- ◆ Dispose
- ◆ label25_Click
- ◆ label26_Click
- ◆ label4_Click
- ◆ label5_Click

Діаграма використання програмної системи



Интерфейс користувача



Интерфейс користувача

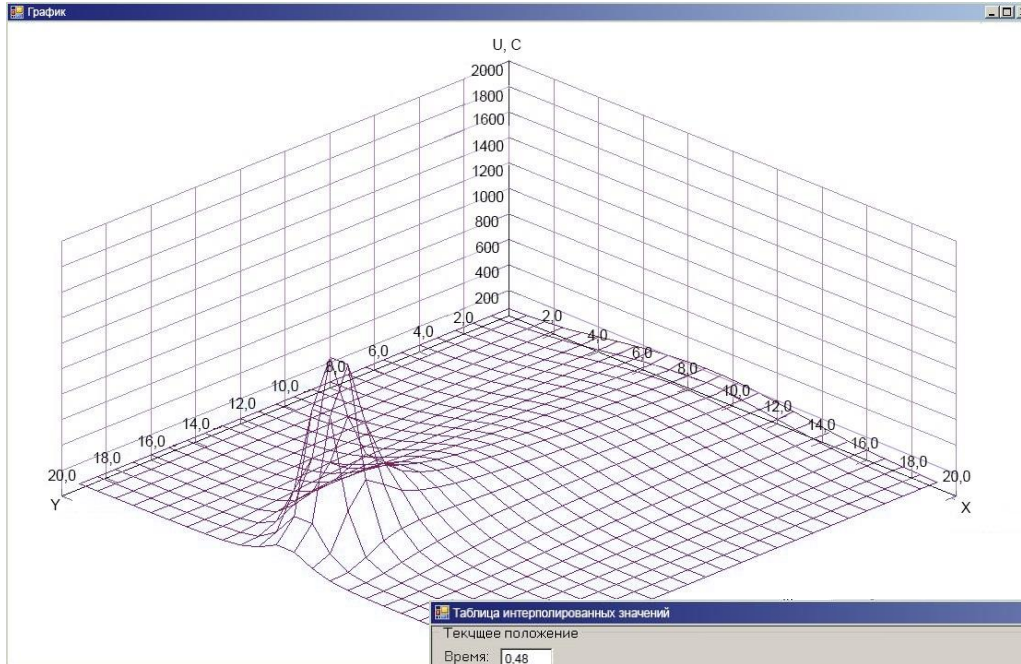


Таблица интерполированных значений

Текущее положение

Время:

	y0	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	y13	y14	y15	y16	y17	y18	y19	y20	y21	y22	y23	y24	y25
x0	20.0023	20.0061	20.0052	20.0039	20.0026	20.0015	20.0008	20.0004	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x1	20.0100	20.0097	20.0083	20.0063	20.0042	20.0025	20.0013	20.0006	20.0002	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x2	20.0385	20.0373	20.0322	20.0245	20.0165	20.0097	20.0050	20.0023	20.0009	20.0003	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x3	20.1466	20.1426	20.1235	20.0949	20.0643	20.0363	20.0199	20.0090	20.0036	20.0012	20.0004	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x4	20.5099	20.4965	20.4333	20.3370	20.2315	20.1392	20.0728	20.0329	20.0130	20.0044	20.0013	20.0004	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x5	21.6049	21.5665	21.3827	21.0944	20.7667	20.4688	20.2473	20.1120	20.0436	20.0147	20.0044	20.0011	20.0003	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x6	24.5498	24.4565	23.9995	23.2491	22.3445	21.4708	20.7875	20.3567	20.1370	20.0452	20.0130	20.0033	20.0008	20.0002	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x7	31.5478	31.3678	30.4484	28.8178	26.6525	24.3438	22.3815	21.0783	20.4053	20.1292	20.0358	20.0088	20.0019	20.0004	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x8	46.0230	45.7952	44.5111	41.8478	37.6238	32.2665	26.9950	23.1636	21.1448	20.3449	20.0901	20.0210	20.0044	20.0009	20.0002	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x9	71.4852	71.4954	71.1291	69.1361	63.7895	53.8683	40.7297	29.3450	23.1499	20.8650	20.2075	20.0451	20.0090	20.0017	20.0003	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x10	108.1100	109.0610	113.2000	118.5820	121.4910	114.5430	87.9519	50.0648	28.6482	22.0221	20.4284	20.0852	20.0160	20.0028	20.0005	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x11	148.1090	150.8190	164.2570	189.3060	231.2750	296.9970	288.1850	140.5450	44.8976	24.2177	20.7591	20.1368	20.0242	20.0041	20.0007	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x12	175.4100	179.7470	202.3880	250.8360	362.4470	616.7510	727.7020	338.7630	76.2254	26.7852	21.0593	20.1773	20.0300	20.0050	20.0008	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x13	175.4100	179.7470	202.3880	250.8360	362.4470	616.7510	727.7020	338.7630	76.2254	26.7852	21.0593	20.1773	20.0300	20.0050	20.0008	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x14	148.1090	150.8190	164.2570	189.3060	231.2750	296.9970	288.1850	140.5450	44.8976	24.2177	20.7591	20.1368	20.0242	20.0041	20.0007	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x15	108.1100	109.0610	113.2000	118.5820	121.4910	114.5430	87.9519	50.0648	28.6482	22.0221	20.4284	20.0852	20.0160	20.0028	20.0005	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x16	71.4852	71.4954	71.1291	69.1361	63.7895	53.8683	40.7297	29.3450	23.1499	20.8650	20.2075	20.0451	20.0090	20.0017	20.0003	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x17	46.0230	45.7952	44.5111	41.8478	37.6238	32.2665	26.9950	23.1636	21.1448	20.3449	20.0901	20.0210	20.0044	20.0009	20.0002	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x18	31.5478	31.3678	30.4484	28.8178	26.6525	24.3438	22.3815	21.0783	20.4053	20.1292	20.0358	20.0088	20.0019	20.0004	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x19	24.5498	24.4565	23.9995	23.2491	22.3445	21.4708	20.7875	20.3567	20.1370	20.0452	20.0130	20.0033	20.0008	20.0002	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x20	21.6049	21.5665	21.3827	21.0944	20.7667	20.4688	20.2473	20.1120	20.0436	20.0147	20.0044	20.0011	20.0003	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x21	20.5099	20.4965	20.4333	20.3370	20.2315	20.1392	20.0728	20.0329	20.0130	20.0044	20.0013	20.0004	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x22	20.1466	20.1426	20.1235	20.0949	20.0643	20.0363	20.0199	20.0090	20.0036	20.0012	20.0004	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x23	20.0385	20.0373	20.0322	20.0245	20.0165	20.0097	20.0050	20.0023	20.0009	20.0003	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x24	20.0100	20.0097	20.0083	20.0063	20.0042	20.0025	20.0013	20.0006	20.0002	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
x25	20.0063	20.0061	20.0052	20.0039	20.0026	20.0015	20.0008	20.0004	20.0001	20.0001	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000

Висновки

Було створено програмне забезпечення для моделювання температурного поля тонкої пластини при лазерному опроміненні, які експлуатують в умовах температурних навантажень.

Використовується метод скінченних різниць. Для переходу до алгебраїчних рівнянь використовується схема по координатного розщеплення, яка виконується покроково в 3 етапи.

Створено користувацький інтерфейс.

Розроблений програмний засіб обраховує температурне поле тонкої пластини на основі заданих користувачем параметрів лазера, характеристик матеріалу та деталі.

Розроблене програмне забезпечення може бути впроваджене на виробництвах де використовується метод безконтактної деформації фізичних об'єктів із застосуванням лазерного опромінення.