

Програмний засіб моделювання лазерно-дугового наплавлення з довільною траєкторією руху плазмотрона

Магістрант групи ТВ-41м: Князьська Ольга Олексіївна

Науковий керівник: к.т.н, доцент Третяк Валерія Анатоліївна

Київ – 2016

Актуальність роботи

В останнє 10-річчя ведеться активна розробка технологій лазерної обробки різноманітних матеріалів. Лазерно-дугове наплавлення композитних матеріалів дозволяє вдосконалювати властивості базового матеріалу деталей залежно від складу композиту. Для визначення необхідних технологічних параметрів лазерно-дугового наплавлення доцільно використовувати методи комп'ютерного моделювання. На властивості покриття найбільше впливає температурний режим наплавлення, тому в роботі моделюється саме теплове поле.

Робота є продовженням попередніх досліджень. Її особливістю є врахування нелінійної траєкторії системи лазер-плазмотрон, що зумовлює можливість нанесення покриття різної форми.

Мета, об'єкт і предмет дослідження

Мета: моделювання теплового поля в процесі лазерно-дугового наплавлення при нелінійній траєкторії руху системи лазер-плазмотрон.

Об'єкт: програмне забезпечення моделювання лазерно-дугового наплавлення.

Предмет: програмне забезпечення реалізації комп'ютерного моделювання теплового поля при лазерно-дуговому наплавленні за умови нелінійної траєкторії руху системи лазер-плазмотрон.

Завдання дослідження

- проаналізувати існуючі методи побудови траєкторії на основі заданих точок;
- проаналізувати методи врахування фазових переходів при розв'язанні тривимірного нелінійного нестационарного рівняння теплопровідності;
- розробити спосіб врахування та збереження змінної форми покриття при нелінійній траєкторії руху системи лазер-плазмотрон;
- модифікувати метод врахування фазових переходів в умовах зміни форми покриття за нелінійною траєкторією;
- реалізувати рекурсивний метод врахування фазових переходів та ведення статистики його роботи;
- доопрацювати програмне забезпечення моделювання лазерно-дугового наплавлення в частині врахування складної траєкторії руху системи лазер-плазмотрон.

Наукова новизна

- удосконалено спосіб завдання траєкторії руху плазмотрона шляхом збереження точок інтерполяційної кривої на основі контрольних точок, що дозволило виконувати моделювання нелінійного руху плазмотрона;
- набуло подальшого розвитку використання методу врахування фазових переходів для моделювання процесів лазерно-дугового наплавлення.

Опис процесу лазерно-дугового наплавлення

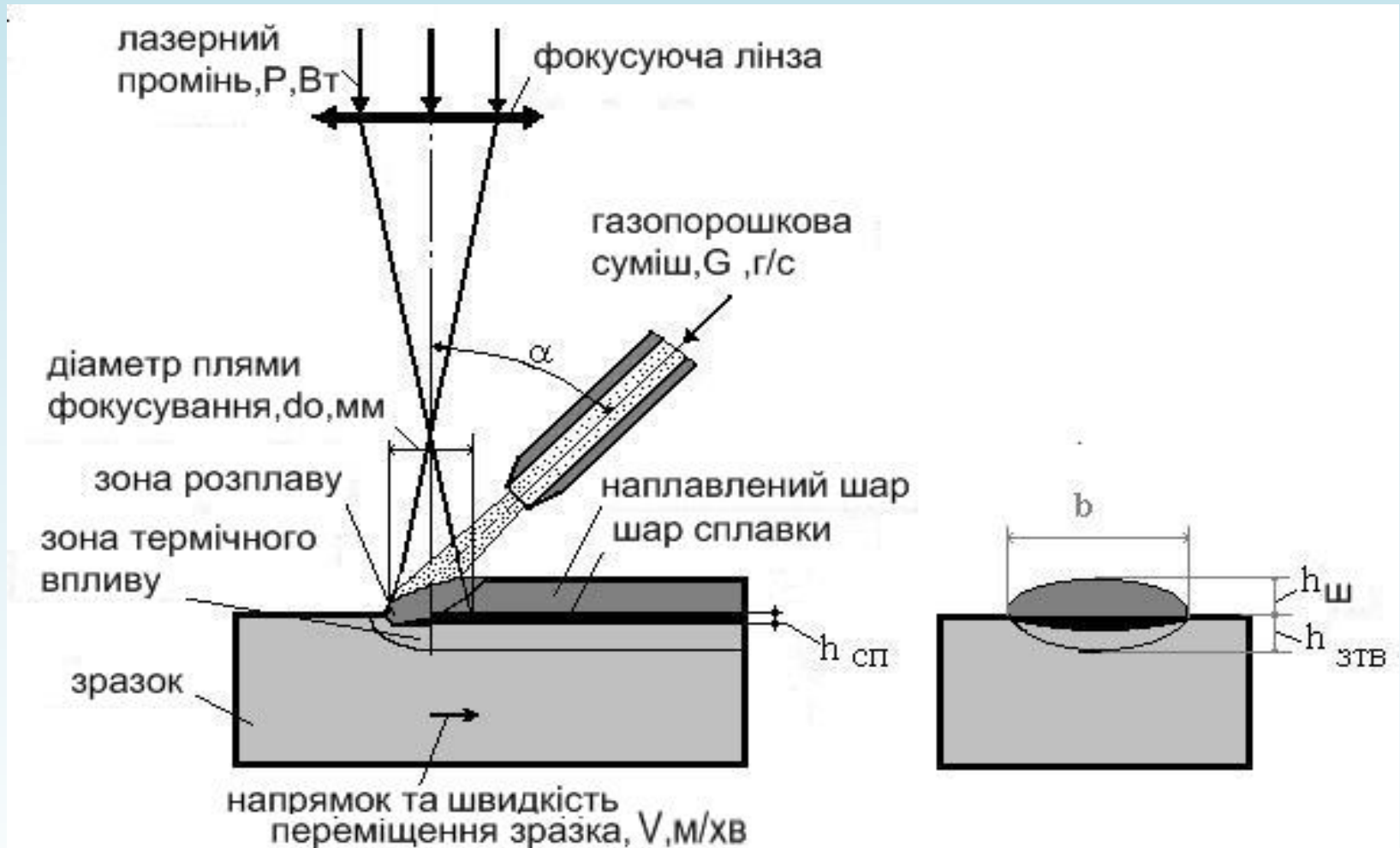


Схема процесу лазерно-дугового наплавлення

Предметна область

Шар покрытия
(материал: двухкомпонентный композит)

Электрическая дуга

лазер

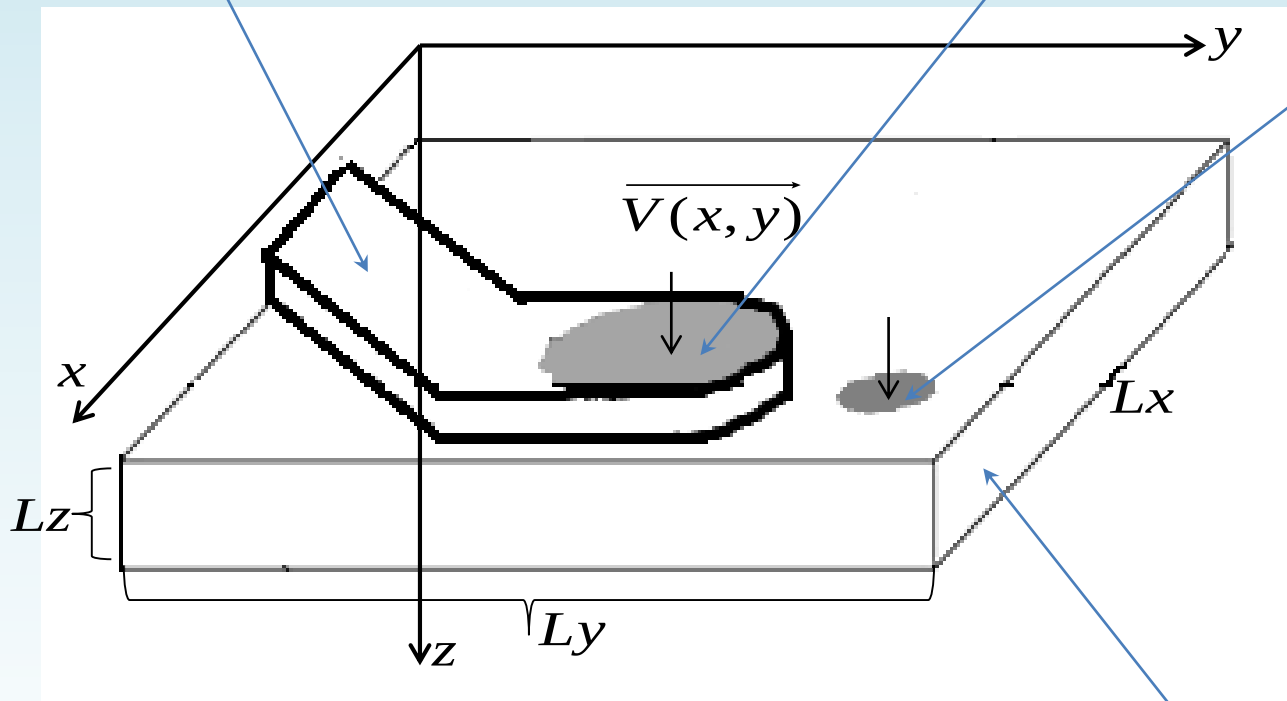


Схема процесса лазерно-дугового напыления

Основа
(материал: сталь)

Математична модель

де t – час;

U – температура
(результуюча функція);

$C(U, z)$ – коефіцієнт
об'ємної теплоємності;

$\lambda(z)$ – коефіцієнт
теплопровідності матеріалу.

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

Граничні умови взаємодії з середовищем

$$\lambda \frac{\partial U}{\partial \vec{n}} \Big|_{\Omega/\Gamma} + h_c [U - U_c] = 0,$$

де $\frac{\partial U}{\partial \vec{n}}$ – похідна температури за напрямком нормалі

до поверхні ОВ;

Ω – границя ОВ;

h_c – коефіцієнт теплообміну, що може бути

Граничні умови нагріву

$$\lambda \frac{\partial U}{\partial \vec{n}} \Big|_{\Gamma} + q = 0,$$

де $\frac{\partial U}{\partial \vec{n}} = \frac{\partial U}{\partial z}$, оскільки

вважається, що нагрів

відбувається зверху;

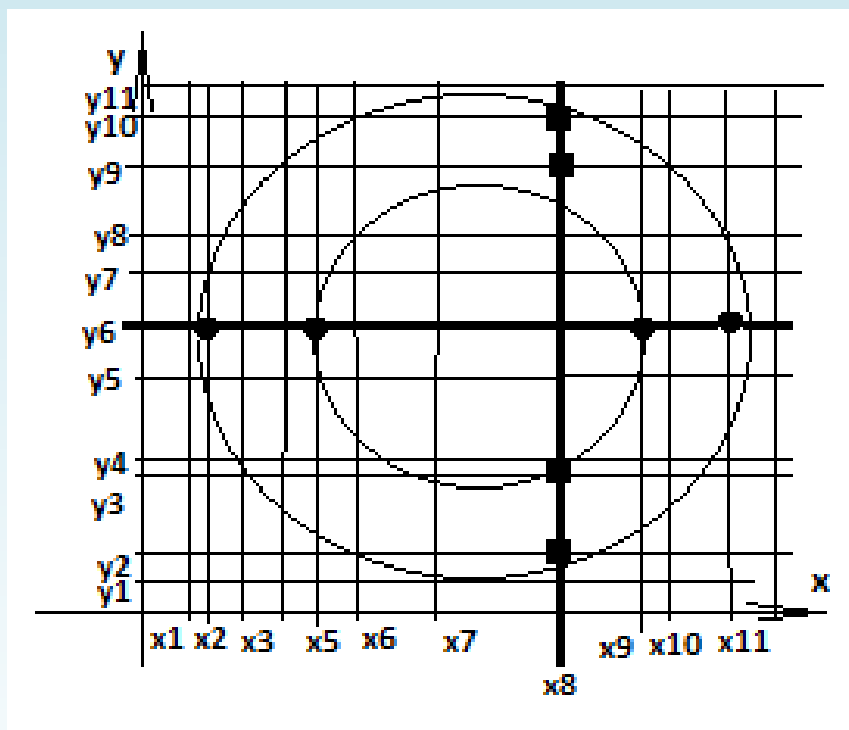
Γ – зона нагріву;

q – розподіл щільності
потужності джерел енергії.

Методи моделювання

- метод скінченних різниць для розв'язання нелінійного нестационарного тривимірного диференціального рівняння в частинних похідних з використанням неявної шестиетапної схеми розщеплення по координатах;
- метод згладжування коефіцієнтів для моделювання фазових переходів;
- метод Ньютона для розв'язування системи нелінійних алгебраїчних рівнянь;
- інтерполяційний метод Лагранжа для побудови траєкторії руху плазмотрона.

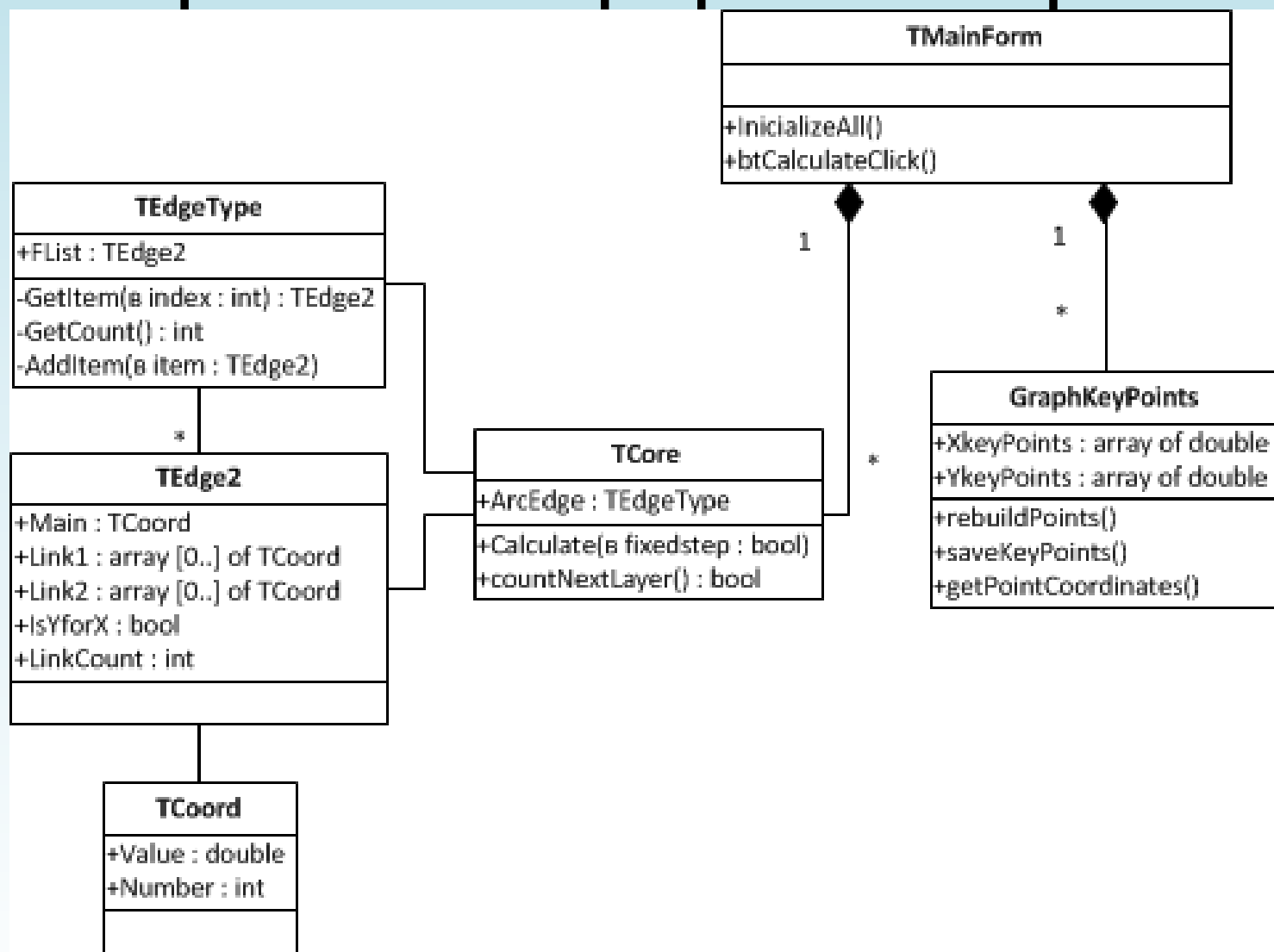
Збереження форми покриття



$$y_6 : x_2 - x_5, x_9 - x_{11}$$

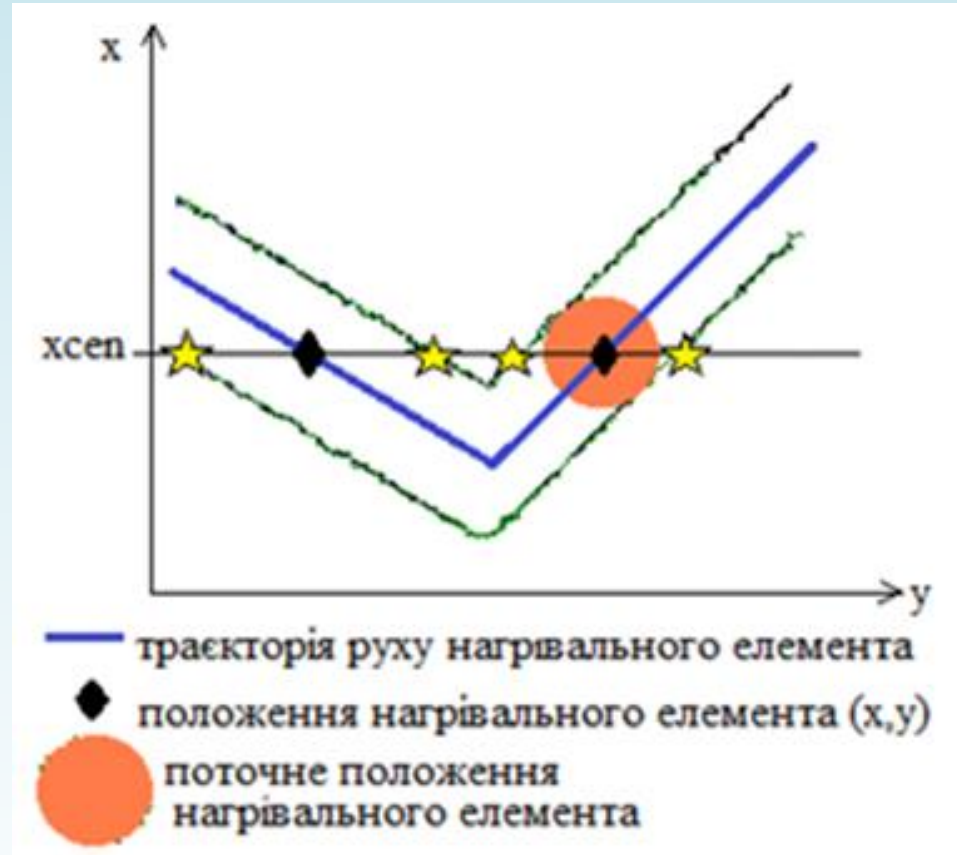
$$x_8 : y_2 - y_3, y_9 - y_{10}$$

Збереження форми покриття

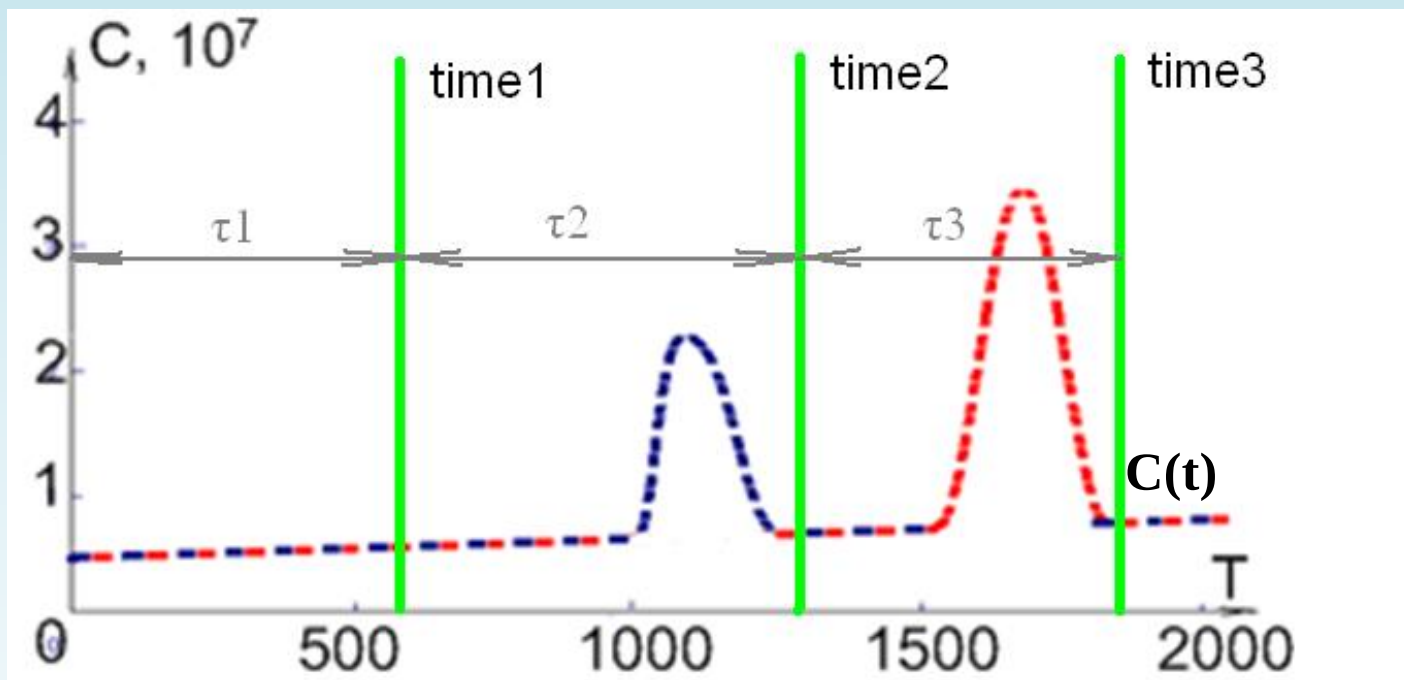


Алгоритм збереження інформації про ОВ

$x: y_1; y_2$
 $y: x_1; x_2$



Проблема врахування фазового переходу



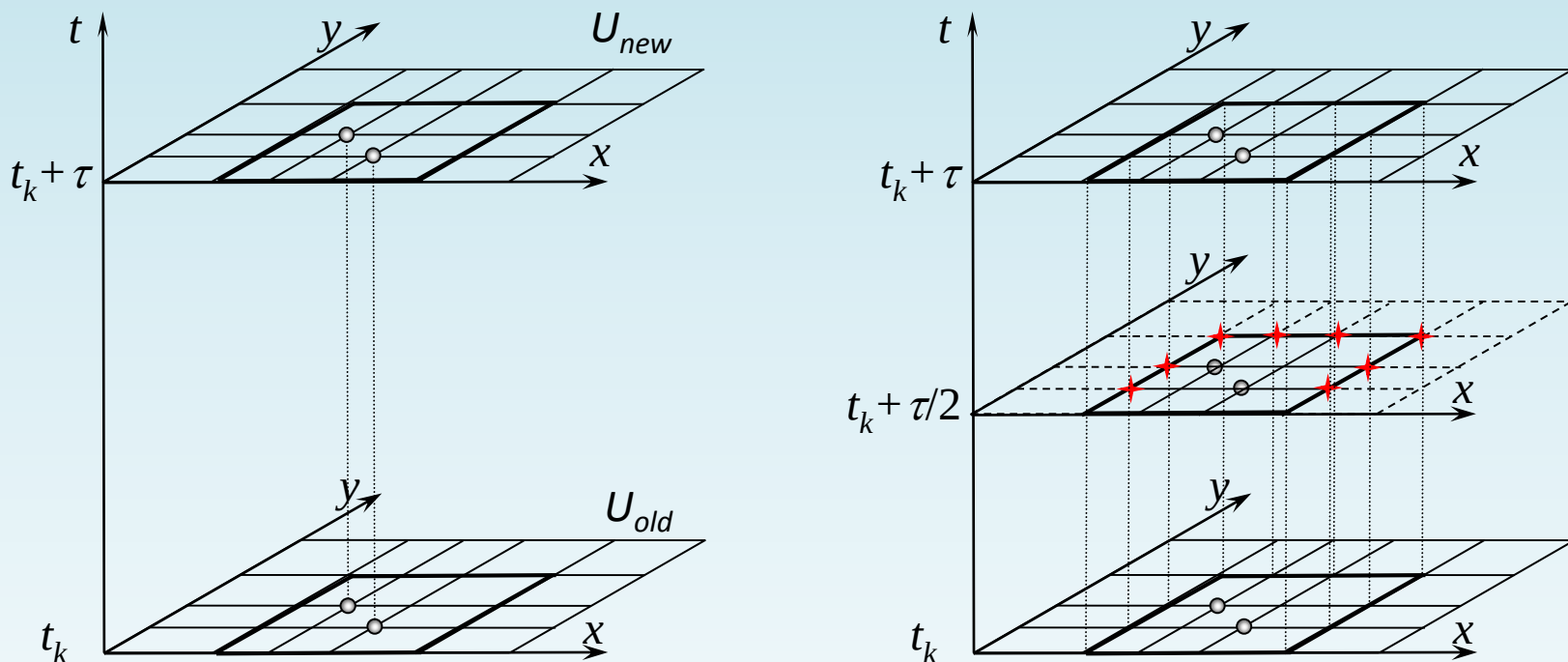
Інтервали фазового переходу

Зображення можливої зміни температури, що призводить до нехтування фазовим переходом

time1 , time2 , time3 – моменти часу;

τ_1 , τ_2 , τ_3 – значення кроків по часу.

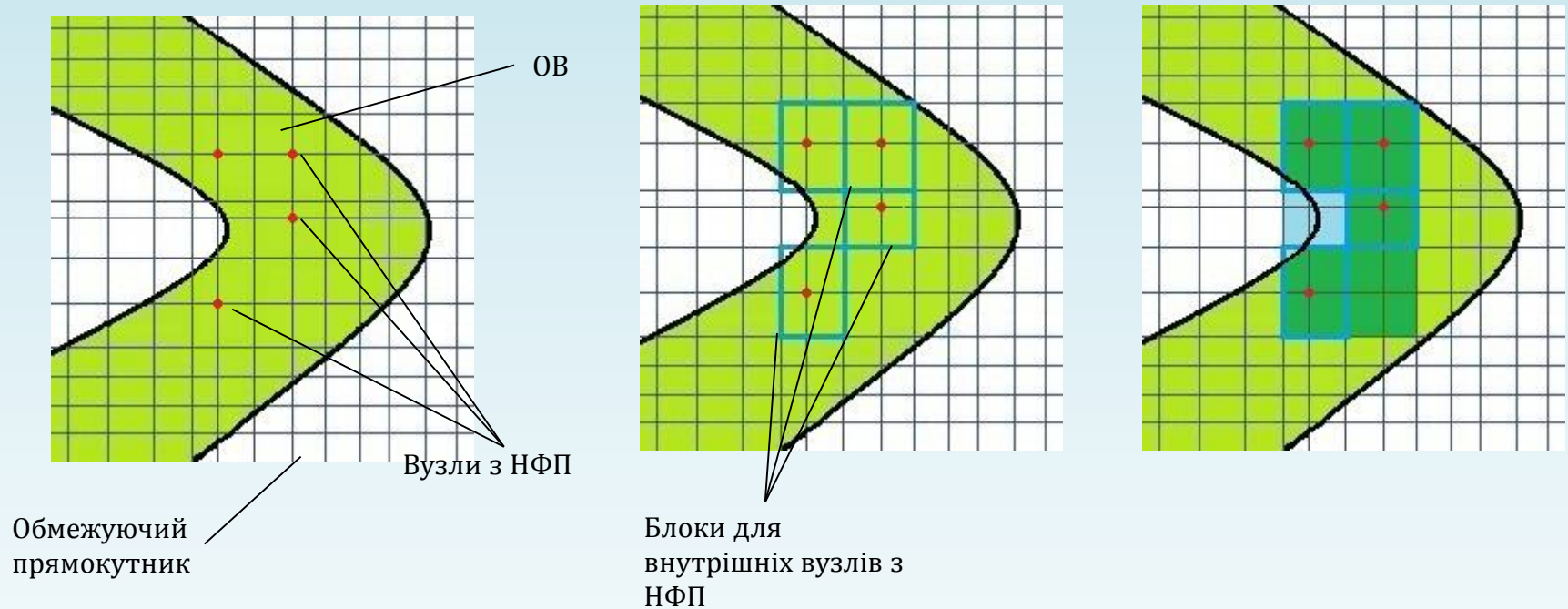
Метод врахування фазових переходів



Схематичне зображення методу врахування фазових переходів на прикладі двовимірної ОВ

$$U^{\star} = (U_{old} + U_{new})/2$$

Поділ області на блоки



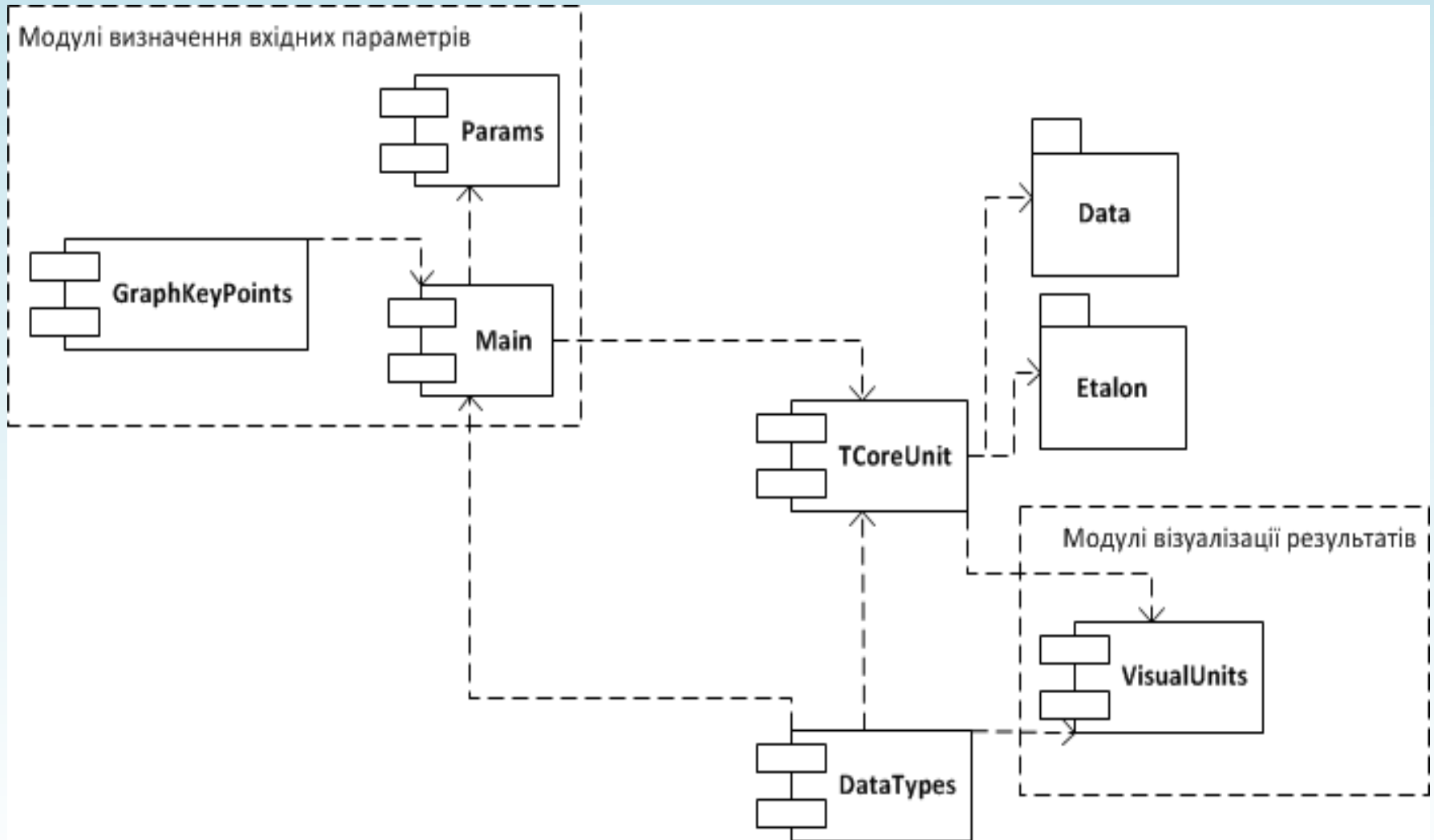
Двовимірний приклад розташування вузлів з невірними фазовими переходами на ОВ:
а) розташування вузлів з НФП; б) початкові блоки; в) остаточні блоки

Поділ області на блоки

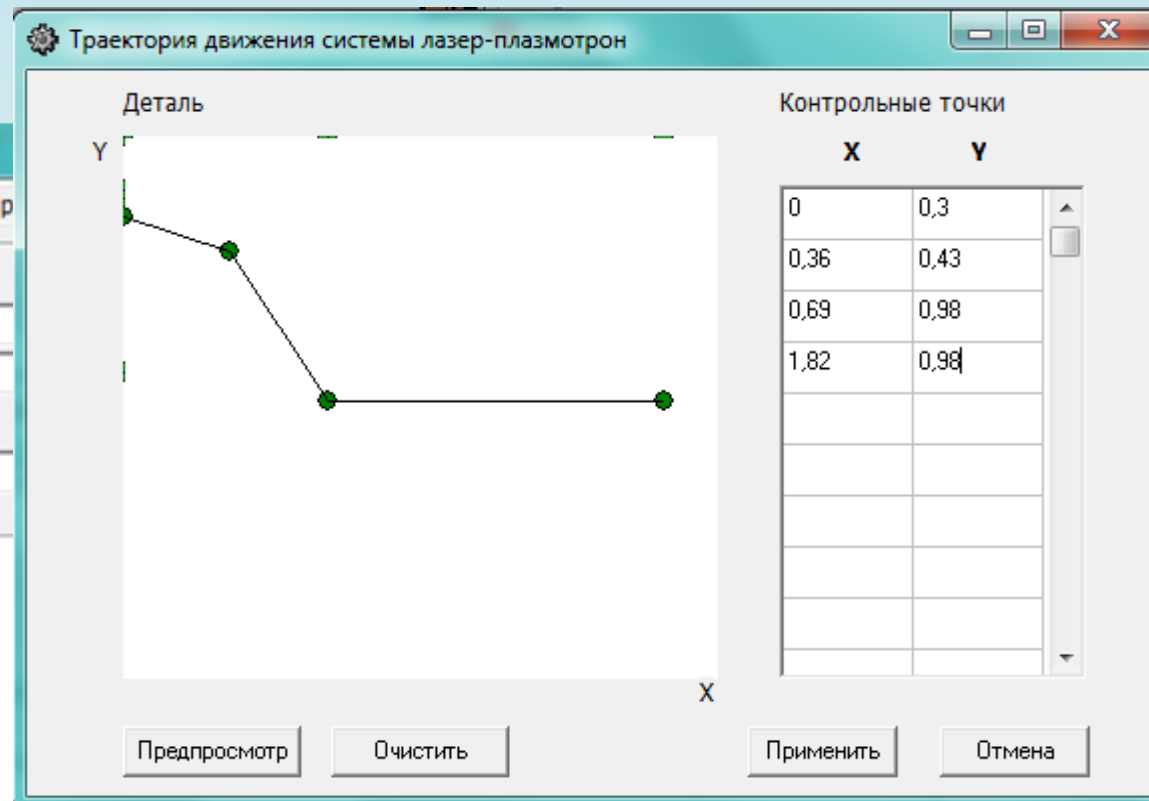
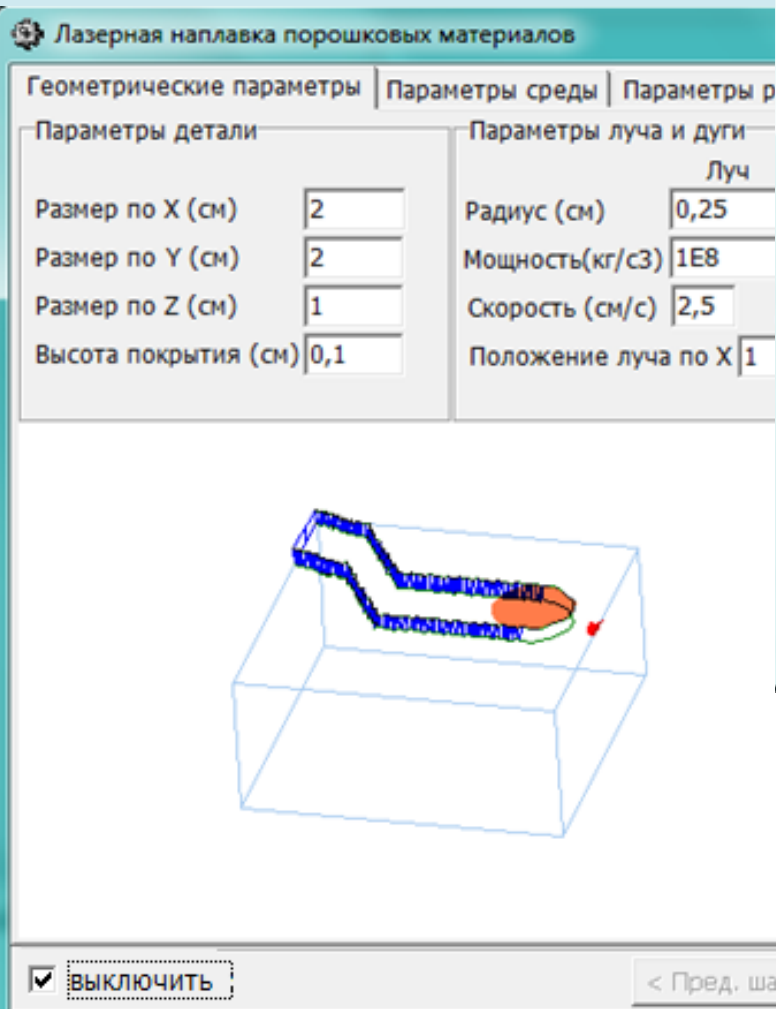
№ досліду	К-сть вузлів з НФП		% врахованих вузлів з НФП	К-сть блоків	К-сть рекурсивних підрівнів	Висота покриття, см	Складність траєкторії
	на поч. ПМ	в кін. ПМ					
1	446	29	93,5	3	4	0,1	Легка
2	1252	57	95,48	3	4	0,3	Легка
3	545	74	86,42	2	4	0,1	Середня
4	1252	57	95,45	3	4	0,3	Середня

Результати тестів методу врахування фазових переходів при нелінійній траєкторії руху системи лазер-дуга

Архітектура системи



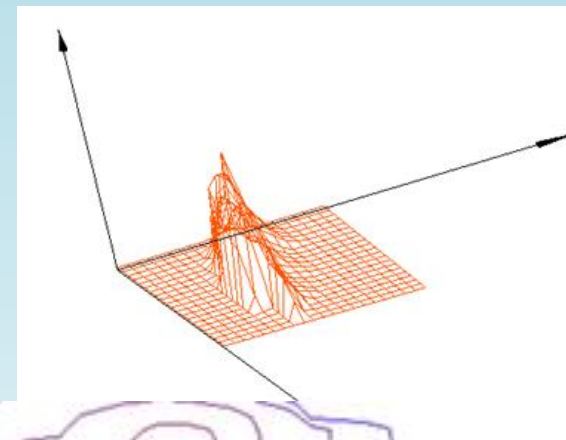
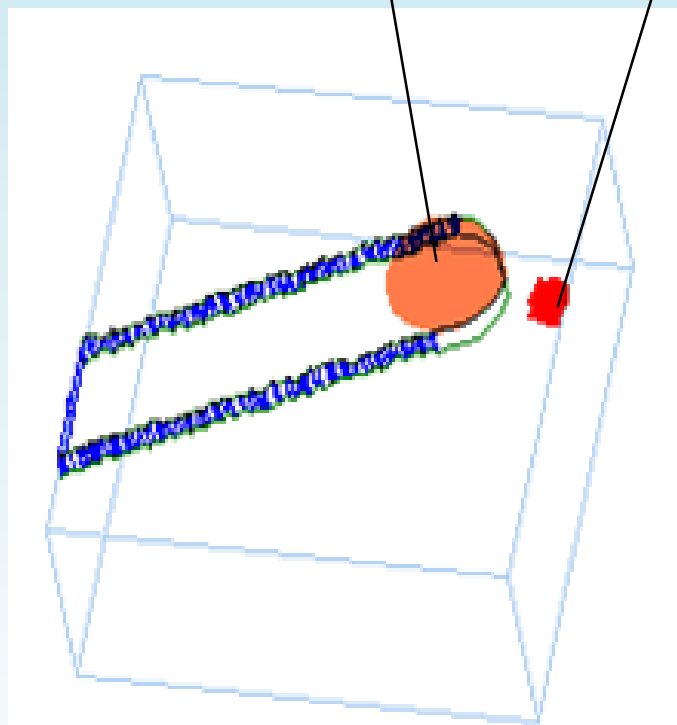
Інтерфейс користувача. Вхідні параметри



Результати

Електрична дуга

лазер



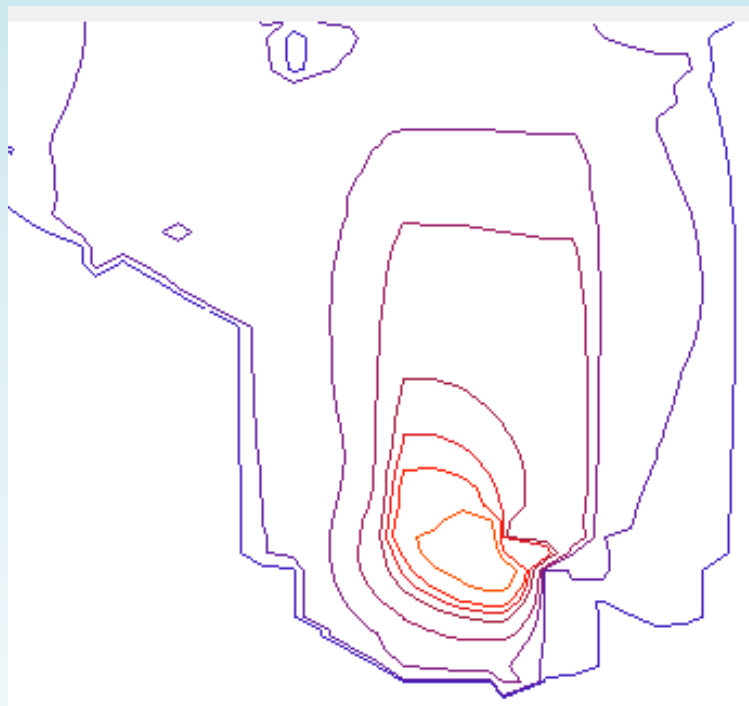
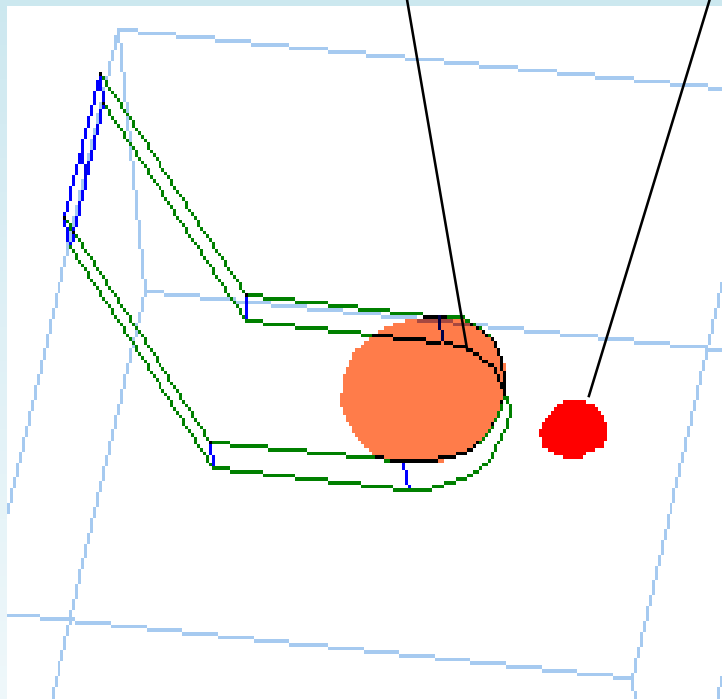
Ізолінії
температурного поля
на межі шарів



Результати

Електрична дуга

лазер

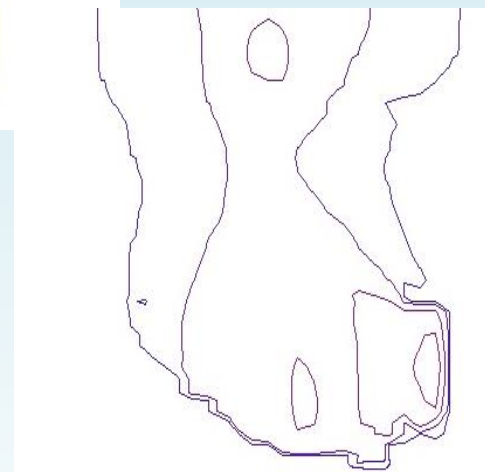
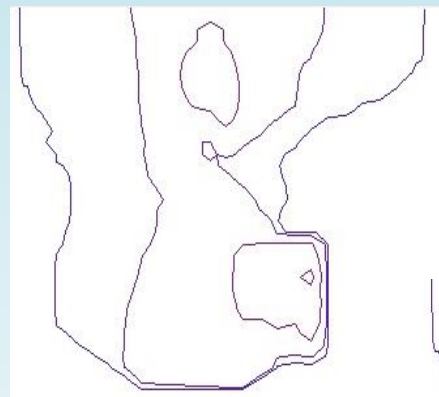
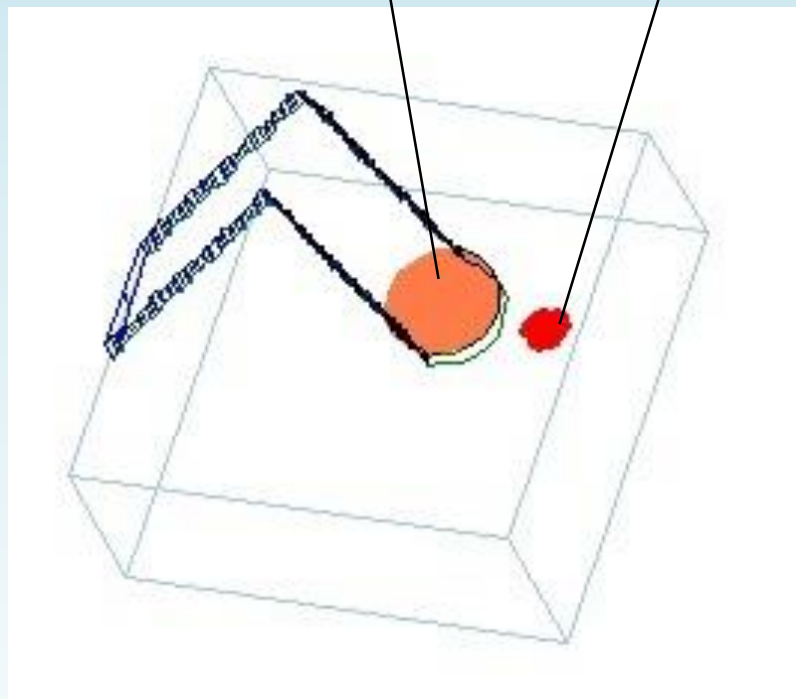


Ізолінії
температурного поля
на межі середовищ

Результати

Електрична дуга

лазер



Ізолінії
температурного поля
на межі середовищ

Висновки

- проаналізовано методи побудови траєкторії на основі заданих точок та методи врахування фазових переходів;
- запропоновано структуру для збереження форми покриття при нелінійній траєкторії руху системи лазер-плазмотрон;
- модифіковано алгоритм пошуку та збереження інформації про форму покриття;
- запропоновано модифікації методу врахування фазових переходів в умовах зміни форми покриття за нелінійною траєкторією;
- модифіковано програмне забезпечення моделювання лазерно-дугового наплавлення в частині врахування складної траєкторії руху системи лазер-плазмотрон.