

УДК 55:51

І.П. Долинський, О.П. Лобасов, В.М. Огарков

ДНВП "Геоінформ Україну", вул. Єжена Потье, 16, Київ 03057, Україна, e-mail: dolinskyi_igor@mail.ru

ЛІНІЙНА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ НА ТРИАНГУЛЬОВАНІЙ ОБЛАСТІ ЯК МЕТОД ПОБУДОВИ 2D МОДЕЛЕЙ ПАРАМЕТРІВ ЗА ВІДСУТНОСТІ АПРІОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Статтю присвячено розробці методу ітераційної лінійної інтерполяції на триангульованій області для побудови 2D моделей параметрів в умовах недостатності та (або) нерівномірності просторового розподілу вихідних даних і відсутності апріорної інформації. Наведено результати апробації на модельному і реальному прикладах побудови структурної моделі геологічного об'єкта. В областях значної розрідженості даних метод дає змогу одержати адекватнішу структурну модель порівняно з іншими методами інтерполяції. На модельному прикладі показано незалежність результату від способу розбиття області на трикутники. Метод не додає моделі властивостей, не зумовлених вихідними даними, і виключає крайові ефекти. Областю застосування методу насамперед є побудова моделей параметрів, які за своєю природою виключають виклинювання (пластові тиск і температура, мінералізація, параметри хімічного складу порід і пластових флюїдів та ін.)

Ключові слова: нафтогазова геологія, геоінформаційна система, числові регіональні моделі, 2D-апроксимація.

Постановка проблеми. Побудова 2D моделей геологічних меж і геологічних параметрів є основою створення інтегрованої цифрової моделі геологічного об'єкта та подальших інженерних розрахунків і наукових висновків. Цифрова модель геологічного об'єкта має бути створена на будь-якій стадії його дослідження, і, відповідно спиратися на будь-який обсяг даних (починаючи з певного мінімуму). Задачу побудови 2D моделі геологічної межі в умовах, достатніх і рівномірно розподілених на площі дослідження вихідних даних, розв'язують тривіальною інтерполяцією. Однак отримати модель в умовах, недостатніх та (або) нерівномірно розподілених на площі дослідження вихідних даних, буде вже неможливо без залучення апріорної інформації у вигляді карт в ізолініях чи цифрових моделей, одержаних на основі теоретичних уявлень, експертних висновків або побудованих попередниками.

Якщо природня апріорна інформація відсутня, то з побудовою моделі виникає проблема. Розв'язати цю проблему неможливо без залучення спеціального математичного апарату, одним з можливих варіантів якого є лінійна інтерполяція на триангульованій області. Переваги саме такого підходу обґрунтовані тим, що на ділянках між точками спостереження шукану поверхню апроксимують площинами, тобто найпростішими поверхнями (з мінімальною кривизною). Побудува складнішої поверхні в цих умовах була б необґрунтованою.

Постановка задачі. Метод лінійної інтерполяції на трикутних сітках має давні традиції, його продовжують використовувати в сучасній структурній геології, зокрема він реалізований в популярному програмному комплексі для структурних побудов Surfer [1–3].

У традиційному варіанті процес розв'язання задачі методом лінійної інтерполяції на триангульованій області складається з двох етапів:

- триангуляції області дослідження (побудови мережі трикутників, що не перетинаються, в вершинах яких знаходяться вихідні точки спостереження);
- власне лінійної інтерполяції на мережі трикутників, яка ємулює відомий “ручний” варіант такої побудови.

В результаті отримуємо поверхню з *розривами по першій похідній на сторонах трикутників*, яку можна використовувати як кінцевий результат або як об'єкт подальшого згладжування сплайн-функціями.

Недоліком традиційного варіанта є залежність результату від способу розбиття на трикутники. Щоб уникнути цього, пропонуємо зробити процес ітераційним, на кожній ітерації якого виконуємо:

- триангуляцію області дослідження;
- розрахунок додаткових серединних точок (X , Y , значення параметра) на сторонах отриманих трикутників, довгих за задану порогову величину.

Значення параметра в додаткових точках розраховуємо методом зваженого на відстань за значеннями в чотирьох вершинах пари суміжних на одній із сторін трикутників. Як порогове значення для поділу сторін трикутників додатковими точками вибираємо середню (або мінімальну) довжину сторони на першій ітерації триангуляції.

В результаті ітераційного процесу трикутники наближаються до рівносторонніх, а сітка вихідних точок стає рівномірнішою. Процес припиняємо, коли довжини всіх сторін трикутників на певній ітерації не перевищу-

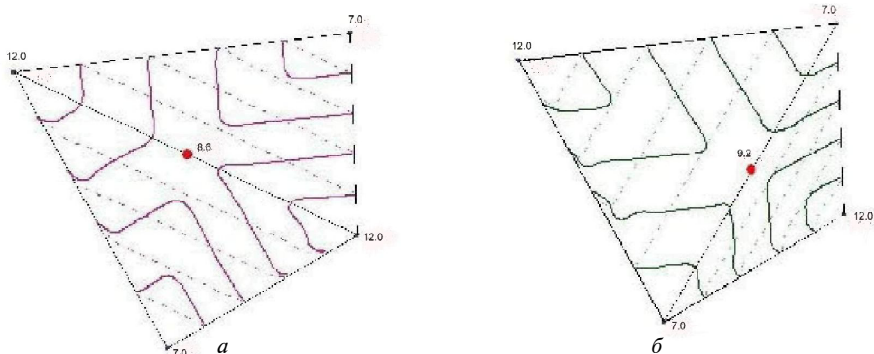


Рис. 1. Модель структурного сідла в традиційному і модернізованому варіантах методу лінійної інтерполяції на триангульованій області (модельний приклад)

ватимуть порогове значення. Результат лінійної інтерполяції на другій ітерації показано на рис. 1, б.

Переваги ітераційної інтерполяції демонструє модельний приклад (рис.1). У структурному плані тут є “сідло”. Тонкою суцільною лінією позначено трикутники при двох можливих способах триангуляції. Тонка пунктирна лінія відповідає результату інтерполяції після однієї ітерації за двох різних варіантів розбиття області на трикутники. Як видно, результат за зміни способу розбиття змінюється на протилежний. Водночас уже після другої ітерації в методі ітераційної інтерполяції в обох варіантах початкового розбиття області на трикутники чітко вимальовується структурне “сідло”. Після подальших ітерацій результати в обох варіантах ставатимуть дедалі ближчими.

Нижче наведено базові математичні засади алгоритмів триангуляції та лінійної інтерполяції на триангульованій області.

Алгоритм триангуляції. Для розбиття області на трикутники використано простий покроковий алгоритм прямої побудови триангуляції Делоне [4].

Спочатку визначаємо базову сторону, від якої починається триангуляція. Першу вершину базової сторони вибираємо найближчою до геометричного центра масиву вихідних точок. Друга буде найближчою до першої.

На базовій стороні будуємо перший трикутник. Третю вершину трикутника вибираємо з множини вихідних точок таким чином, щоб кут при ній був найбільшим (на рис. 2 $a' < a$).

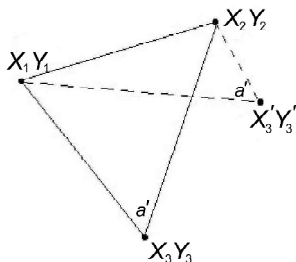


Рис. 2. Вибір третьої вершини трикутника з усіх можливих за максимальним кутом при ній

Наступні трикутники будуємо на зовнішніх сторонах уже побудованих у такий самий спосіб, доки всі сторони трикутників розбиття не стануть внутрішніми або частинами випуклої межі області триангуляції.

Кут при шуканій третій вершині (X_3, Y_3) трикутника, побудованого на базовій стороні $(X_1, Y_1) - (X_2, Y_2)$ розраховуємо за формулою скалярного добутку (рис. 2):

$$\cos(a) = \left[(X_1 - X_3)(X_2 - X_3) + (Y_1 - Y_3)(Y_2 - Y_3) \right] / (d_1 \cdot d_2),$$

$$d_1 = \sqrt{[(X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2]}, \quad d_2 = \sqrt{[(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2]}.$$

Алгоритм лінійної інтерполяції на триангульованій області. Методом лінійної інтерполяції на триангульованій області розраховуємо значення параметра у вузлах регулярної точкової мережі, яка покриває триангульовану область (див. рис. 1). Значення Z у вузлі (X, Y) отримуємо в ході таких розрахунків:

$$k_1 = (X_2 - X_1) / (Y_2 - Y_1),$$

$$k_2 = (X - X_3) / (Y - Y_3),$$

$$Y_t = (X_1 - X_3 - Y_1 k_1 + Y_3 k_2) / (k_2 - k_1),$$

$$X_t = X_1 + (Y_t - Y_1) k_1,$$

$$w_1 = \sqrt{(X_1 - X_t)^2 + (Y_1 - Y_t)^2} / \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2},$$

$$w_2 = \sqrt{(X_t - X)^2 + (Y_t - Y)^2} / \sqrt{(X_t - X_3)^2 + (Y_t - Y_3)^2},$$

$$Z_t = Z_1(1 - w_1) + Z_2 w_1,$$

$$Z = Z_t(1 - w_2) + Z_2 w_2.$$

Тут (X_p, Y_p, Z_p) – проміжна допоміжна точка.

Апробація. Апробацію методу проводили на множині відміток покрівлі картамиської світи нижньопермського відділу однієї з ділянок Дніпровсько-Донецької западини. На рис. 3, а показано послідовне уточнення шуканої поверхні в міру зростання кількості ітерацій. На рис. 3, б показано модель покрівлі картамиської світи, отриманої методом сплайн-апроксимації на тій самій множині вихідних точок, на рис. 3, в – триангуляцію отримано на 5-й ітерації, що відповідає моделі рис. 3, г.

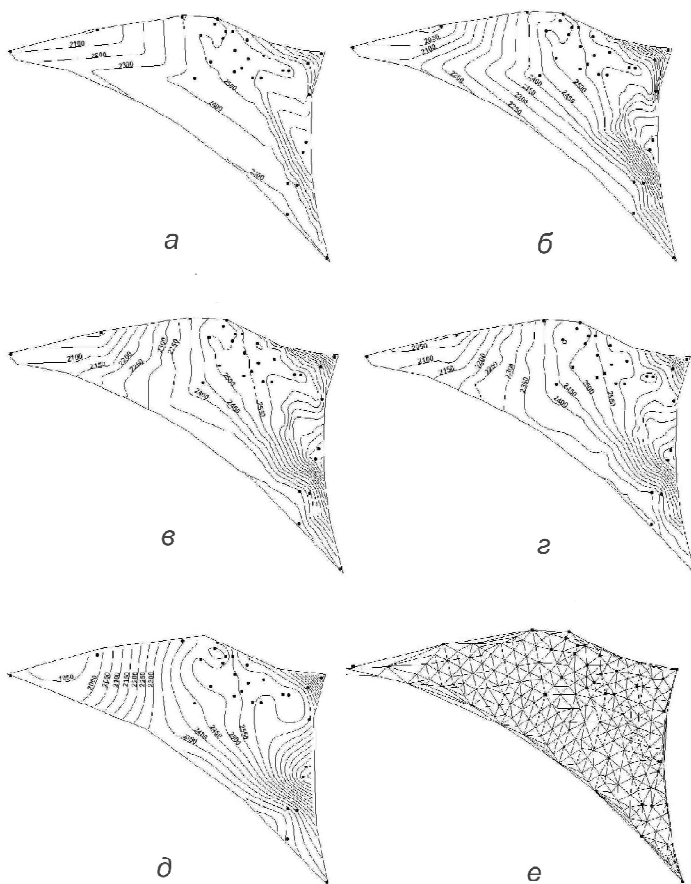


Рис. 3. Результати апробації методу на множині відміток покрівлі картамиської світи нижньопермського відділу однієї з ділянок Дніпровсько-Донецької западини. Точками позначено свердловини

Метод за своєю природою забезпечує інтерполяцію значень у вихідних точках уже на 1-й ітерації. Із збільшенням числа ітерацій модель, отримана за описаною методикою, наближається до моделі, отриманої методом сплайн-апроксимації, проте в області розрідженості вихідних даних властивості результуючої поверхні значно покращуються. В лівій частині ділянки (рис. 3) маємо певну різницю у властивостях моделей (градієнти поверхонь тут близькі до ортогональних), яка, на нашу думку, свідчить на користь методу лінійної інтерполяції на триангульованій області.

Висновки. Доведено можливість застосування методу лінійної інтерполяції на триангульованій області з ітераційним до визначенням вихідної інформації для побудови моделей 2D параметрів в умовах відсутності апріорної інформації та розрідженості і нерівномірного розподілу вихідних даних. Описаний метод не вносить у модель властивостей, не закладених у вихідних даних, що є необхідною умовою побудови адекватної структурної моделі за відсутності апріорної інформації. Крім того, виключаються крайові ефекти, властиві для методів інтерполяції в області розрідженості даних. Переваги запропонованого підходу перед іншими методами інтерполяції стають очевиднішими із зменшенням кількості вихідних точок і збільшенням нерівномірності їх розподілу.

Областю застосування методу насамперед є побудова моделей параметрів, які за природою не можуть бути меншими від нуля (пластові тиски і температури, мінералізація, параметри хімічного складу порід і пластових флюїдів тощо). Під час моделювання геологічних тіл, які можуть виклинюватися (і це зафіксовано меншими від нуля потужностями тіл на моделях), в умовах недостатності первинної інформації метод можна використовувати для побудови поверхонь-аналогів, які виконуватимуть роль стабілізаторів при побудові результуючих поверхонь.

Метод програмно реалізовано у вигляді проєкту ArcView 3.п.

1. *Белкина В.А.* Методические указания к дипломным и курсовым работам и к лабораторным работам по дисциплине “Основы компьютерных технологий решения геологических задач”: для студентов очной и заочной формы обучения специальности 130304 “Геология нефти и газа” / В.А. Белкина, М.А. Василевская; Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования “Тюмен. гос. нефтегазовый ун-т”. – Тюмень: Изд-во Нефтегаз. ун-та, 2006. – 34 с.
2. *Милосердова Л.В.* Лабораторные работы по структурной геологии / Л.В. Милосердова, А.В. Осипов; Под ред. В.Ю. Керимова; Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губ-

- кина, Каф. теор. основ поисков и разведки нефти и газа. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2014. – 112 с.
3. *Петров И.Б.* Библиотека методов интерполяции высоких порядков на неструктурированных треугольных и тетраэдральных сетках / И.Б. Петров, А.В. Фаворская // Информ. технологии. – 2011. – № 9. – С. 30–32.
 4. *Скворцов А.В.* Триангуляция Делоне и ее применение / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. – 128 с.

Линейная интерполяция на триангулированной области как метод построения 2D моделей параметров при отсутствии априорной информации

И.П. Долинский, А.П. Лобасов, В.М. Огарков

*ГНПП “Геоинформ України”, ул. Эжена Потье, 16, Київ 03057, Україна,
e-mail: dolinskiy_igor@mail.ru*

Статья посвящена разработке метода итерационной линейной интерполяции на триангулированной области для построения 2D моделей параметров в условиях недостаточности и (или) неравномерности пространственного распределения исходных данных и отсутствия априорной информации. Представлены результаты апробации на модельном и реальном примерах построения структурной модели геологического объекта. В областях большой разреженности данных метод позволяет получить более адекватную структурную модель по сравнению с другими методами интерполяции. На модельном примере показана независимость результата от способа разбиения области на треугольники. Метод не придает модели свойства, не обусловленные исходными данными и исключает краевые эффекты. Областью применения метода в первую очередь является построение моделей параметров, которые по своей природе исключают выклинивание (пластовые давления и температуры, минерализация, параметры химического состава пород и пластовых флюидов и др.)

Ключевые слова: нефтегазовая геология, геоинформационная система, числовые региональные модели, 2D-аппроксимация.

The linear interpolation on triangulated region as a method of 2D parameters modelling in the case of a priori information absence

I.P. Dolinsky, O.P. Lobasov, V.M. Ogarkov

*SSPE “Geoinform of Ukraine”, 16 Ezhena Pottier Str., Kyiv 03680, Ukraine,
e-mail: dolinskiy_igor@mail.ru*

The paper is devoted to developing the method of iterative linear interpolation on triangulated region for building of 2D parameters models in the conditions of data insufficiency and irregularity without a priori information. The approbation results using synthetic and real geological data are shown. In the regions of rare data the method, reveal more adequate structural model in comparison with other interpolation

methods. The synthetic model example shows that result doesn't depend on the mean of triangulation. The model doesn't gain the properties that are not absent in initial data and rule out the border effects. The modelling of parameters that naturally rule out thinning (layer pressure and temperature, mineralization, chemical components of rocks and bed fluids etc.) is the sphere of use the method in the first place.

Keywords: oil&gas geology, geoinformational system, numerical regional models, space analysis, 2D interpolation.

Надійшла до редакції 05.05.2015 р.