

УДК 778.19

СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЛАНДШАФТУ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

*С.М. Андрєєв, канд. техн. наук, доцент
(Національний аерокосмічний університет
ім. М.Е. Жуковського (ХАІ))*

*О.С. Бутенко, канд. техн. наук, доцент,
(Національний аерокосмічний університет
ім. М.Е. Жуковського (ХАІ))*

*В.А. Жилін, канд. техн. наук, доцент
(Українська інженерно-педагогічна академія)*

Запропоновано підхід щодо використання сучасних систем комп'ютерної математики для моделювання елементів ландшафту, відтворених у цифровому виразі за картографічними даними та даними дистанційного зондування Землі. Обґрунтовано можливість застосування систем комп'ютерної математики для створення прогностичних моделей ландшафту земної поверхні, а також формування адаптивних цифрових карт геофізичних сфер.

Предложен подход к применению современных систем компьютерной математики для моделирования элементов ландшафта по координатам, получаемым на основе дистанционного зондирования Земли и картографирования. Обоснована возможность использования систем компьютерной математики для создания прогностических моделей ландшафта земной поверхности и адаптивных цифровых карт геофизических сфер.

The approach to application of modern systems of computer mathematics for modelling of units of a landscape on the co-ordinates received on the basis of remote sounding of the Earth and mapping is offered. Possibility of usage of systems of computer mathematics for creation прогностических моделей ландшафта земной поверхности и адаптивных цифровых карт геофизических сфер is proved.

© С.М. Андрєєв, О.С. Бутенко, В.А. Жилін, 2010

У теперішній час традиційно триває та набуває всебічного розвитку запроваджена на початку ХХІ століття тенденція переходу систем дистанційного зондування Землі військового та цивільного призначення до цифрових засобів отримання, обробки та накопичення геоінформаційних даних [1—3]. Крім того, розгалужено впроваджуються комп'ютерні технології створення цифрових моделей та засобів картографічного документування геофізичних сфер Землі (і взагалі, планетарних тіл Сонячної системи).

Саме тому актуальною є задача визначення прийнятних підходів щодо використання найбільш ефективних і достатньо апробованих алгоритмічних і програмних засобів з метою створення необхідних комп'ютерних моделей для обробки та документування даних дистанційного зондування та спостереження Землі.

Зважаючи на певний досвід людства щодо створення програмних продуктів із зазначеної мети і наявність такої продукції для безпосереднього використання в інтересах України, не можна не відзначити достатньо високий рівень вартості програмного забезпечення закордонного виробництва, безперечні, цілком природні, його певні недоліки, а звідси — нагальну потребу у створенні власних національних програмних пакетів для забезпечення потреб у вирішенні завдань дистанційного зондування Землі.

У зв'язку з цим, треба найбільш уважно ставитись до вивчення можливостей сучасних систем комп'ютерної математики (СКМ): Mathematica, Maple, Derive, MathCAD, MATLAB.

Кожна з найбільш розвинених на теперішній час СКМ є унікальною, а саме - має власний інтерфейс для спілкування з користувачем, значно великі набори математичних функцій, алгоритмів та методів рішення математичних задач. Проте, незважаючи на дещо слабку «символьну математику», на теперішній час найбільш адаптованою і апробованою для рішення задач аналізу, синтезу, моделювання систем і планування експерименту можна ґрунтовно вважати СКМ MATLAB розробки компанії MathWorks (США). До того ж ця система є доступною на ринку комп'ютерних послуг і, як буде показано нижче, для рішення певних задач тривимірного моделювання поверхонь, не потребує закупівлі додаткових, так званих програмних розширень MATLAB [4—5].

Отже, на практиці для моделювання поверхні, що є функцією висот від планового положення точки, використовуються два

основних види структур — регулярна (рівномірна прямокутна) та нерегулярна (триангуляційна) сітки (рис. 1) [6].

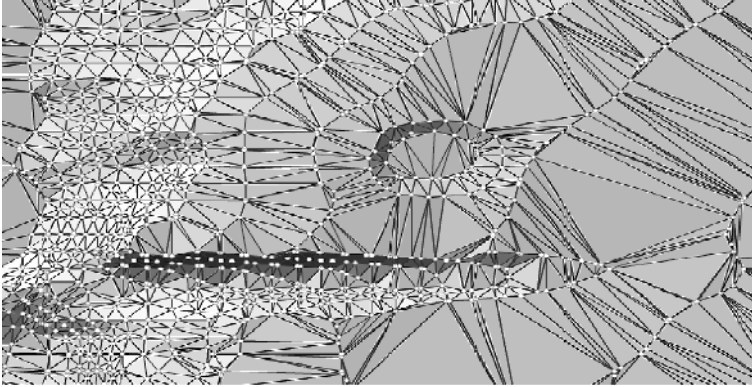


Рис. 1. Триангуляційна модель фрагменту поверхні Землі

Основним недоліком регулярної сітки є громіздкість подання даних. Реальні об'єкти для достатньо детального подання потребують значного масиву даних. Тому є необхідність обирати між точністю подання (розміром комірки) та розміром території, що охоплюється.

В триангуляційній моделі якість апроксимації значно вище, ніж у регулярній. Проте суттєво зростає складність алгоритмів обробки [6]. Тому в даній роботі розглянуто моделювання поверхні Землі із використанням рівномірної прямокутної структури, зважаючи на стабільність рівня зростання продуктивності обчислювальних засобів (що значно компенсує трудовитрати на моделювання), а також на можливість програмування функції розвитку (прогнозу) поведінки будь-якої точки рівномірної прямокутної моделі ландшафту.

Під час побудовання моделі рельєфу на практиці є такі види вихідних даних [6]:

1. Тривимірні точки на поверхні (висотні відмітки на карті).
2. Структурні лінії рельєфу — лінії, вздовж яких має місце порушена гладкість поверхні (лінії обривів, межі річок, струмки, гірські хребці, межі штучних споруд, тощо).

3. Ізолінії — лінії одного рівня, вздовж яких поверхня є гладкою.
4. Горизонтальні плато — регіони, що у них висота поверхні усюди однакова (озера).
5. Области інтересів — регіони, поза якими інформація невідома або не цікавить користувача.

На практиці модель рельєфу застосовується сумісно з іншими даними про місцевість, такими як розміщення річок, лісів, доріг, домів, тощо. Звичайно, доречно різними кольорами відзначати елементи моделі ландшафту у залежності від того, чи належать вони до дороги, поля, лісу та ін.

Метою даної роботи є предметна постановка задачі моделювання ландшафту, у тому числі і просторовими кривими, що їх побудову та збереження у вигляді числових масивів координат пропонується виконувати засобами СКМ MATLAB.

Приклад побудови гірського елемента ландшафту у середовищі СКМ MATLAB у спрощеному вигляді (задіяні три структурні лінії рельєфу) наведено на рис. 2. Програмний script-код MATLAB для побудови наведених ліній має достатньо простий зміст, що не становить алгоритмічної складності у порівнянні з триангуляційними [6] моделями:

```
>> X=[0,0.5,2,2.7,3,2.5,3,3.5,4,4.5,5];
>> Y=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];
>> Z=[-50,-48,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> X1=[-10,-9,-8,-7,-5,-3,-2,-0.5,1,3,5];
>> Y1=[0,0.5,0.7,0.9,1.5,2.5,3.5,4.5,4.7,4.8,5];
>> Z1=[-50,-48,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> X2=[-7,-6.5,-5,-4.5,-3,-1.5,-0.5,0.5,1,3,5];
>> Y2=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];
>> Z2=[-50,-32,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> plot3(X,Y,Z,X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2)
>> grid on.
```

У наведеному прикладі (рис. 2) кожену точку моделі, відповідно дискретизації у площині XY та квантуванню по висоті Z, може бути завдано за вимірними параметрами ландшафту, тобто має-ся на увазі, що вхідними даними для побудови комп'ютерного образу елемента ландшафту мають бути дані з топографічних карт, або дані безпосереднього дистанційного зондування Землі існуючими технічними засобами вимірювання параметрів рельєфу.

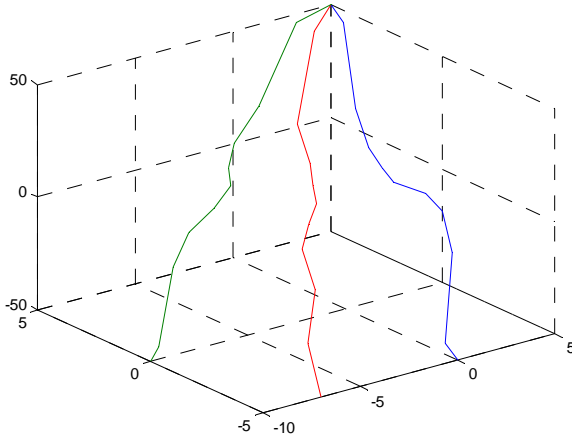


Рис. 2. Модель фрагменту гірського ландшафту, змодельована трьома структурними лініями рельєфу із використанням СКМ MATLAB.

При цьому, враховуючи орієнтованість СКМ MATLAB на матричні математичні операції, вочевидь не є трудомісткою перебудова наведеного програмного коду таким чином, що кожна точка в моделі лінії рельєфу може бути задана не константою, а функцією, яка відображує певну поведінку у часі і передбачає можливість застосування прогностичних моделей.

На рис. 3 наведено приклад моделювання лінійної, а на рис. 4 — нелінійної трансформації спрощеної моделі гірського елементу ландшафту (здіяні три структурні лінії рельєфу), при цьому вочевидь простота та невеликий обсяг script- та m-файлів, що їх потребує система MATLAB для реалізації даної моделі:

```
Script-file for Command Window
>> X=[0,0.5,2,2.7,3,2.5,3,3.5,4,4.5,5];
>> Y=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];
>> Z=[-50,-48,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> X1=[-10,-9,-8,-7,-5,-3,-2,-0.5,1,3,5];
>> Y1=[0,0.5,0.7,0.9,1.5,2.5,3.5,4.5,4.7,4.8,5];
>> Z1=[-50,-48,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> X2=[-7,-6.5,-5,-4.5,-3,-1.5,-0.5,0.5,1,3,5];Y2=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];
```

```
>> Y2=[-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5];Z2=[-50,-32,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> Z2=[-50,-32,-16,-4,-1,0,1,4,16,48,50];
>> plot3(X,Y,Z,X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2)
>> grid on
>> Z_2=sinoptic_2(Z,5);
>> Z1_2=sinoptic_2(Z1,5);
>> Z2_2=sinoptic_2(Z2,5);
>> hold on
>> plot3(X,Y,Z_2,X1,Y1,Z1_2,X2,Y2,Z2_2)
```

m-file

```
function ZZ=sinoptic_2(X,n)
q=n;
for i=1:q ZZ=X+10*i; ZZ1(i,:)=ZZ; end;
ZZ=ZZ1.
```

Слід зазначити, що координати точок структурних ліній рельєфу в межах запропонованих script-file MATLAB можуть бути завдані як матриці даних (картографічних або вимірних), так і як функції, що змістовно представляють аналітичний опис ліній рельєфу, чи, навіть, опис поверхні рельєфу, тобто тривимірну функцію залежності квантованих за координатою Z величин висоти рельєфу від дискретно завданих величин плоских географічних координат X та Y .

Для будь-якого з описаних варіантів використання система MATLAB забезпечує можливість модельного відтворення та завданого трансформування поверхонь рельєфу. При цьому за допомогою стандартних вбудованих MATLAB-функцій можна реалізувати кольорову відмітку величин рівня висот, точкову індикацію координат будь-якої точки поверхні із використанням маніпулятора «миша», а також тонові контурні лінії проекцій перетинів поверхні ландшафту, що моделюється (рис. 5).

На рис. 6 наведено приклади різноманітних можливих реалізацій візуальної трьохвимірної моделі фрагменту ландшафтною поверхні із використанням СКМ MATLAB. Окремо слід зазначити, що наведена тривимірна поверхнева модель забезпечує, як і у прикладах моделей, що будуються з просторових ліній, побудову віртуального рельєфу із використанням або дискретних (кванто-

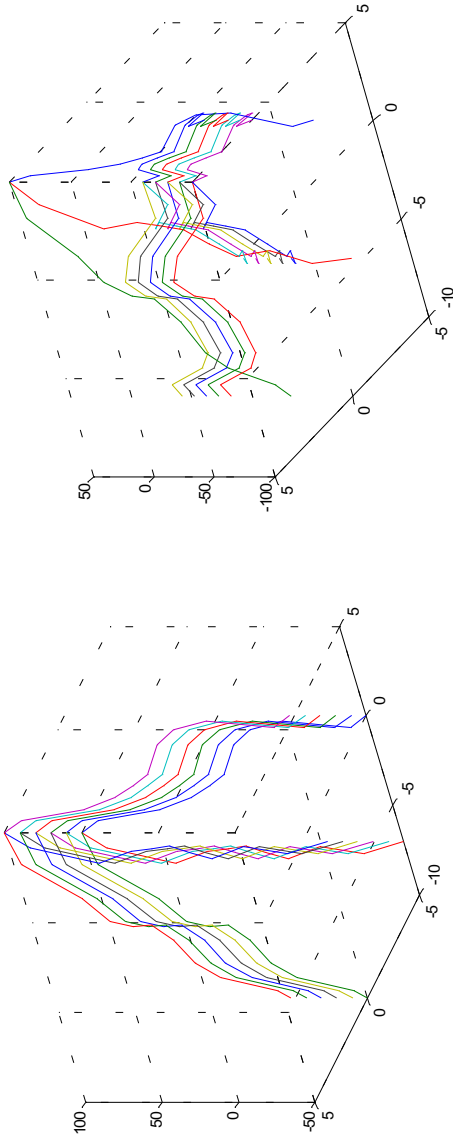


Рис. 3. Багаторазова (5^{th}) лінійна трансформація моделі фрагменту гірського ландшафту.

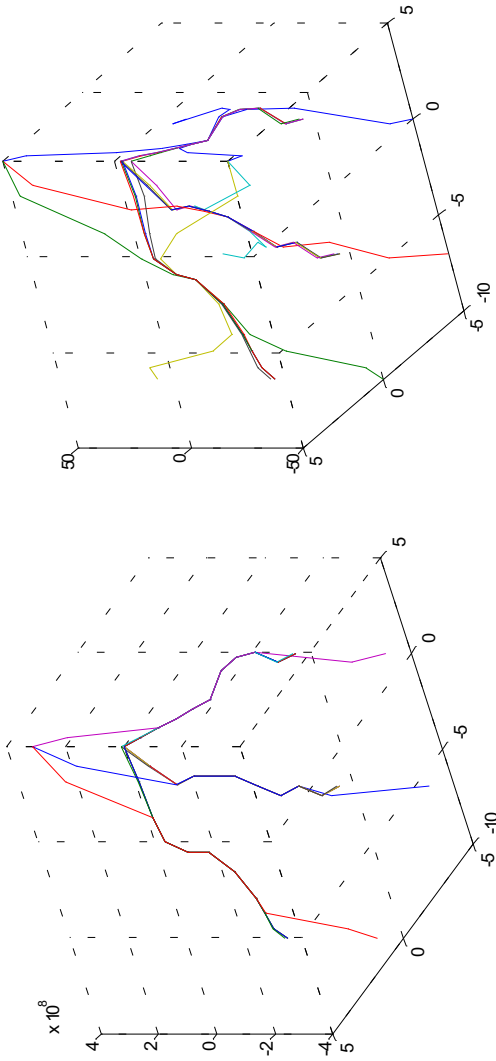


Рис. 4. Багаторазова (5^{m}) нелінійна трансформація моделі фрагменту гірського ландшафту.

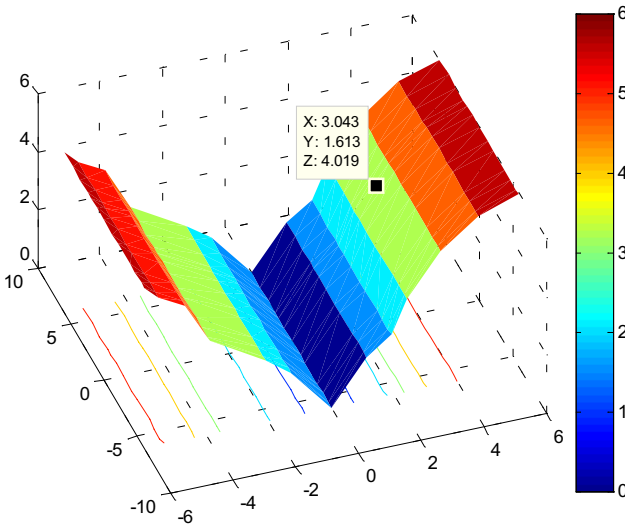


Рис. 5. Тривимірна модель ландшафтної поверхні з кольоровою індикацією рівня висот та проєкцій перетинів.

ваних) масивів даних про координати просторових точок (ліній), або функцій (якщо такі відомі, побудовані), що відтворюють (апроксимують) ландшафтні елементи. Отже, комплексування простих та не громіздких script-файлів MATLAB із відповідними m-файлами, що за суттю є функціями користувача (розробника) ландшафтної моделі, в цілому дає змогу моделювати геофізичні сфери Землі з урахуванням динаміки розвитку у часі.

Наприклад, script- та m-файл MATLAB-сценарію для п'яти-крокової нелінійної трансформації рельєфної моделі, наведеної на рис. 6, має достатньо економічний обсяг щодо необхідних об'ємів електронної пам'яті для зберігання та процесорних ресурсів для обчислювання:

Script—file for Command Window

```
>> [X,Y]=meshgrid([-6,-5.55,-4.7,-3.9,-2.1,-1.3,0,1.1,1.9,2.4,3.5,4.7,6]);
>> Z=sin(X)./(X.^2+Y.^2+0.3)
Z = 0.0039    0.0100    0.0171    0.0134   -0.0212   -0.0254
0    0.0238    0.0237    0.0161   -0.0072   -0.0171 ...
>> [Z1,Z2,Z3,Z4,Z5]=sinoptic_2_2s(Z,5)
```

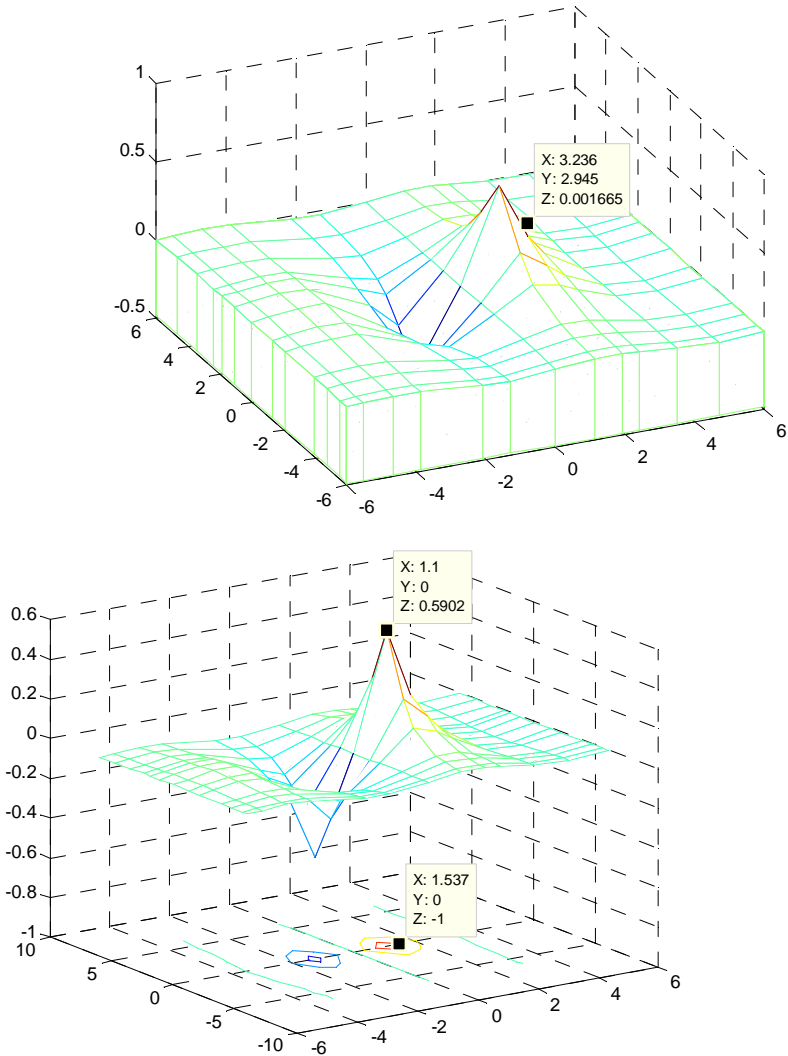


Рис. 6. Варіанти реалізації тривимірної моделі ландшафтної поверхні з кольоровою індикацією рівня висот і проєкцій перетинів та точковою індикацією координат

```

Z1 = 9.9614    9.9003    9.8288    9.8665    10.2120    10.2536
10.0000    9.7624    9.7629    9.8394    10.0723    10.0386 ...
Z2 = 3.9807    3.9501    3.9144    3.9332    4.1060    4.1268
4.0000    3.8812    3.8814    3.9197    4.0361    4.0856 ...
Z3 = 26.9807  26.9501  26.9144  26.9332  27.1060  27.1268
27.0000  26.8812  26.8814  26.9197  27.0361 ...
Z4 = 255.9807 255.9501 255.9144 255.9332 256.1060 256.1268
256.0000 255.8812 255.8814 255.9197 ...
Z5 =
1.0e+003 *
3.1250  3.1250  3.1249  3.1249  3.1251  3.1251  3.1250
3.1249  3.1249  3.1249  3.1250  3.1251 ...
>> mesh(X,Y,Z)
>> hold on
>> mesh(X,Y,Z2)

```

m-file

```

function [Z1,Z2,Z3,Z4,Z5]=sinoptic_2_2s(X,n)
q=n;
for i=1:q-(q-1) zz1=-10.*X+10.*i.^i; end;
for i=1:q-(q-2) zz2=-5.*X+i.^i; end;
for i=1:q-(q-3) zz3=-5.*X+i.^i; end;
for i=1:q-(q-4) zz4=-5.*X+i.^i; end;
for i=1:q-(q-5) zz5=-5.*X+i.^i; end;
Z1=zz1;Z2=zz2;Z3=zz3;Z4=zz4;Z5=zz5 .

```

На рис. 7 наведено графічне відображення зазначених зразкових (найпростіших нелінійних п'яти-крокових) функціональних трансформацій. При цьому засоби візуалізації обчислень MATLAB дозволяють відтворювати іконічне зображення змінювання моделюваної ландшафтної поверхні у тривимірних конструкціях з контурних ліній та поверхневих площинних елементів.

Зрозуміло, що у разі завдання в m-файлі MATLAB відповідно складної функціональної моделі рельєфних змінювань завданого фрагменту літосфери, складність програмного коду, що визначається вимогами користувача саме до m-файлу, значно зростає і природно висуватимуться більш критичні вимоги до продуктивності обчислювальних засобів.

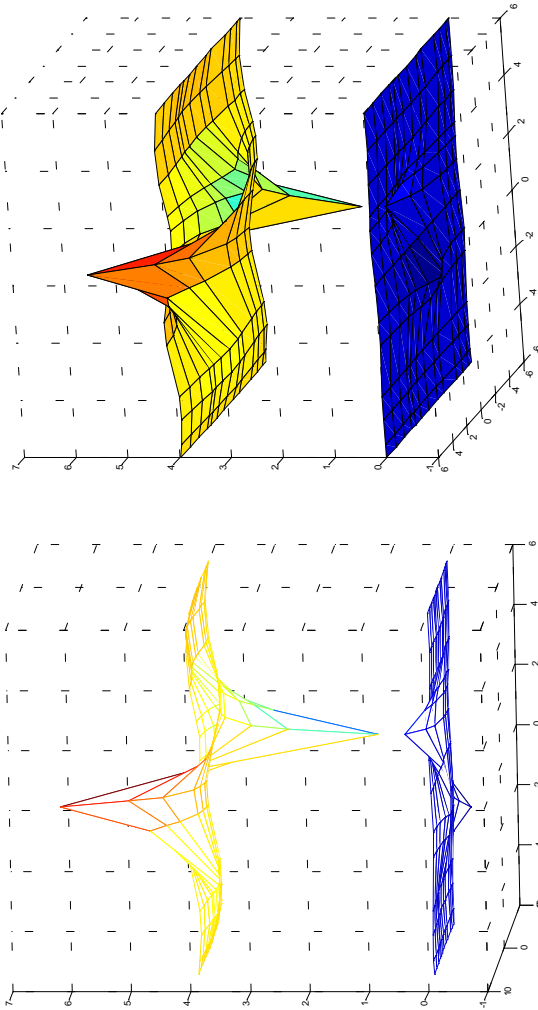


Рис. 7. Візуальна реалізація функціонально запрограмованого змінювання тривимірної моделі ландшафтної поверхні з кольоровою індикацією рівня висот

Тим не менш, запропонований підхід використання сучасних СКМ (зокрема, MATLAB) для впровадження регулярних прямокутних структур з метою моделювання геофізичних сфер Землі завдяки простоті програмних рішень при створенні скрипт-кодів є цілком конкурентноздатним у порівнянні із триангуляцією [6] і може використовуватись у якості платформи для створення прогностичних моделей планетарних ландшафтів і адаптивних цифрових карт геофізичних сфер.

* * *

1. Андреев С.М. Особенности цифрового сканирования материалов дистанционного зондирования Земли с аналоговых носителей / С.М. Андреев, В.А. Жилин // Сборник научных работ VII Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии управления экологической безопасностью, природопользованием, мерами в чрезвычайных ситуациях». — Киев-Харьков-АР Крым, 2008. — 344 с. — С. 129–136.

2. Андреев С.М. Особенности использования современных устройств сканирования для переноса геоинформации с галогенидосеребряных носителей на цифровые / С.М. Андреев, В.А. Жилин // Системы управления, навигации та зв'язку. К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2008. — Вип. 3(7). — 168 с. — С. 41–48.

3. Андреев С.М. Использование современных компьютерных технологий для контроля воспроизведения оптической плотности при сканировании с галогенидосеребряных носителей данных дистанционного зондирования Земли / С.М. Андреев, В.А. Жилин // Сборник научных работ VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии управления экологической безопасностью, природопользованием, мерами в чрезвычайных ситуациях». — Киев-Харьков-АР Крым, 2009. — 514 с. — С. 13–25.

4. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения / В.П. Дьяконов // Серия «Библиотека профессионала». — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 800 с.: ил.

5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. — М.: Техносфера, 2006. — 616 с.

6. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Скворцов. — Томск: Изд.-во Том. ун.-та, 2002. — 128 с.

Отримано 25.09.2010 р.