

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ МОРФОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ РЕКРЕАЦІЙНОЇ ОЦІНКИ РЕЛЬЄФУ

© Рудий Р.М., Керкер В.Б., Рудий М.Р., 2001

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

Запропоновано методику виділення та класифікації схилів певної експозиції по цифровій моделі рельєфу з використанням теорії розпізнавання образів. Приведені приклади розв'язку вказаної задачі на спеціальному тестовому об'єкті і на реальному матеріалі.

В геоморфології, в геодезії, в топографії в даний час створюються бази даних геоінформаційних систем (ГІС). Ставляться задачі практичного використання просторових моделей цих даних та розв'язку різних прикладних задач в реальному масштабі часу, або близькому до реального. Виникла необхідність спільних досліджень в областях ГІС і систем автоматичного проєгування (САПР). Автоматичні системи управління (АСУ) і ГІС визначають науково-технічний прогрес держави і ці два напрямки обслуговуються геодезією, фотограмметрією і картографією. Метою досліджень роботи є підвищення точності та якості аналізу, швидкості та достовірності отримання даних.

Рельєф земної поверхні є однією з основних складових довкілля. Він відіграє вирішальну роль в розвитку природно-антропогенних процесів. Публікації, що стосуються дослідження рельєфу земної поверхні, підтверджують положення про те, що комп'ютеризація всіх галузей народного господарства з метою підвищення ефективності та оперативності управління ними є потребою цивілізованого суспільства. Оскільки цифрова інформація про місцевість забезпечує просторово-часову інтеграцію рішень, що приймаються та контроль за їх виконанням чи реалізацією. Хоч економічна доцільність використання найсучасніших наукоємних геоінформаційних технологій є очевидною, для її широкого впровадження необхідно вирішити доволі багато наукових та технічних проблем. Споживачами такої продукції повинні бути сформовані при державних органах управління спеціальні структури, що дозволять ефективно забезпечити вирішення на сучасному світовому технічному рівні важливих народно-господарських завдань, серед яких: проведення земельної реформи, управління землекористуванням і моніторинг земель на основі цифрових карт, оперативне прийняття управлінських рішень, оцінка обставин і управління ресурсами при виникненні надзвичайних ситуацій, а також управління державними силовими

структурами і тощо.

В [1] виділяються такі особливості сучасних морфометричних досліджень, тобто вивчення числових характеристик окремих форм і типів рельєфу: направленість на розв'язок актуальних народно-господарських задач, а саме екологічних, геологічних, освоєння шельфу тощо; використання досягнень аерокосмічного знімання, обчислювальної техніки, картографії.

За методикою, що приведена в [2], рекреаційна оцінка рельєфу базується на аналізі морфометричних показників. При цьому однією з суттєвих характеристик є крутизна та експозиція схилів. Саме ці характеристики пропонується розпізнавати та класифікувати по цифровій моделі з використанням теорії розпізнавання образів.

Основною складністю, що стоїть перед орографією як одним із розділів геоморфології, є відсутність способів та прийомів, які дозволили б строго розмежувати відповідні форми [3,6]. Не існує єдиного критерія для проведення границь вказаних форм. Навіть позитивні та негативні форми не мають між собою чітко вираженої границі і плавно переходять одна в другу. Аналітичний розв'язок цього питання, можливо ще не зовсім остаточний, приводиться в [5]. Оскільки формалізувати можна тільки такі складові частини земної поверхні, які мають чітко виражені гометричні ознаки, то для спрощення задачі в орографії нехтують врахування походження форм та іншими їх особливостями. Відомий геоморфолог О. Ласточкін підкреслює необхідність строгого виділення малих складових частин земної поверхні, хоч чітко ізольовані форми зустрічаються рідко [4].

В попередніх роботах, наприклад, [5] та інших приводились всі теоретичні аспекти використання теорії розпізнавання образів для класифікації ділянок земної поверхні в залежності від форм рельєфу. Розв'язуючи задачу класифікації форм рельєфу, розглядають цифрову модель невеликою ділянкою-вікном розміром $W \times W$. Ділянка місцевості, що попадає в дане вікно, може

класифікуватись з використанням набору ознак і відповідних еталонів. Відомо, що ознаками в цьому випадку можуть служити відстані, спектральні характеристики, коефіцієнти апроксимуючих функцій, нахили і інші кількісні параметри об'єктів, що досліджуються. Зручною ознакою наявності рівнини чи рівномірного схилу є значення визначника

$$\Delta = [(r_2 - r_1)(r_3 - r_1)(r_4 - r_1)], \quad (1)$$

де r_i - радіуси-вектори, якими задаються напрямки з центральної точки на чотири точки, що взяті в кутах ділянки, яка досліджується. Бажано, щоб ці точки були рівномірно розташованими по площі вікна. Якщо вказані точки будуть в одній площині, то визначник Δ буде дорівнювати нулю. Чим більше одна з точок буде віддалена від площини, що проходить через інших три точки, тим більше буде значення Δ за абсолютною величиною.

При виконанні даних досліджень вектор ознак було взято восьмивимірний. Він складається із ухилів з центральної точки вікна на крайні точки. При попаданні скануючого вікна на рівнинну ділянку місцевості нахили по всіх радіусах-векторах з центральної точки на крайні будуть рівними нулю. На рівномірному схилі ознаки повинні ділитись на чотири групи, тобто на пологій площині буде дві групи ознак близьких до нуля, а між ними інші дві групи ознак (одна - позитивні, а інша - негативні). Ознак, рівних нулю ухилів, повинно бути дві, однак радіус-вектор може не попасти на горизонтальну лінію нахиленої поверхні і тому отримують ознаки тільки близькі до нуля. Для пагорба всі ознаки будуть з від'ємним знаком, а для ями навпаки, всі крутизни схилів будуть позитивними. Для улоговини так само як для нахиленої площини ознаки будуть ділитись на чотири групи: дві групи ухилів близьких до нуля, тобто незначної величини (вони розташовані за лінією тальвега) і дві групи позитивних ухилів. Подібний вектор ознак буде і для хребта, тільки на відміну від улоговини крутизни схилів матимуть позитивний знак. Таким чином може бути описана форма будь-якої ділянки рельєфу. Слід відзначити, що деякі форми рельєфу можуть бути складними, наприклад, сідловина. Якщо центральна точка скануючого вікна взята в характерній центральній точці сідловини, то її образ можна представити вектором, в якому буде чотири групи ознак. При цьому ознаки чергуватимуться на позитивні і негативні в приблизно однаковій кількості.

Кількість ознак, які представляють образ об'єкта, можна збільшити, по-перше, за рахунок зменшення кута між сусідніми радіус-векторами, і, по-друге, взяттям на одному радіус-векторі

декількох точок. Крім цього, як вже було сказано, ознаками можуть бути взяті й інші кутові та лінійні величини, що характеризують рельєф.

Класом вважають ділянки рельєфу земної поверхні, що володіють рядом спільних властивостей, а образом вважають опис будь-якої ділянки рельєфу, як представника відповідного класу образів. Система автоматичного розпізнавання складається з двох основних підсистем: датчика і класифікатора. Датчик є підсистемою, що перетворює фізичні характеристики об'єкта, який підлягає розпізнаванню, в набір ознак у вигляді вектора

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)', \quad (2)$$

де штрих теж означає транспонування.

Класифікатор є пристроєм чи програмою, яка відносить кожен образ чи набір ознак, які поступають на його вхід, до одного з класів. Структура даних, що використовуються при розв'язку задачі, має наступний вигляд:

$$\bar{C}^T = \begin{bmatrix} X_1^T \\ X_2^T \\ \dots \\ X_i^T \\ \dots \\ X_m^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де $\bar{C}^T = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m\}$ - об'єкти, вікна, класи;

$$Y_j = \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}\}, \quad (4)$$

де Y_j - вектор нахилів з центра ділянки-вікна в певному, наприклад, в південному напрямку;

$$X_i^T = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in}\}, \quad (5)$$

де X_i^T - окремий образ чи вектор ознак.

В даний час в задачах розпізнавання найчастіше використовується декілька категорій, що визначають поняття відстань між об'єктами, які класифікуються. Очевидно, що чим менша відстань між об'єктами, тим більш вони подібні. Однак це твердження справедливе тільки тоді, коли вдало підбрані ознаки, а цього досягти не завжди вдається. Тому помилки в розпізнаванні можливі,

особливо на початковій стадії.

В метричному просторі X відстань між точкою $P \in X$ і класом $X_0 \subset X$ з центром M визначається величиною d_1 , як найменша величина, тобто

$$d_1(P, X_0) = \inf\{d(P, M), M \in X_0\}. \quad (6)$$

Відстань між двома класами $X_1 \subset X$, $X_2 \subset X$ визначається таким же чином, як найменше значення, або нижня границя

$$d_2(X_1, X_2) = \inf\{d(P, M) | P \in X_1, M \in X_2\}. \quad (7)$$

Перше визначення даної відстані, на наш погляд, найпростіше і найпоширеніше. Це евклідова відстань, що визначається за такою формулою:

$$d(\vec{X}_i, \vec{X}_j) = \left\{ \sum_{k=1}^n |x_{ik} - x_{jk}|^2 \right\}^{1/2}, \quad (8)$$

де X_i, X_j - вектори, між якими оцінюється відстань; x_{ik} - складова вектора X_i . Геометричним місцем точок, рівновіддалених від початку координат, в цій метриці буде коло радіусом d . Якщо ознаки вибрані вдало, то об'єкти чи створені за ними образи будуть

тим більше подібні між собою, чим меншою є відстань d .

Розпізнавання та класифікація виконувались на основі ГС технологій. Ділянку рельєфу земної поверхні розглядають при виконанні досліджень як дискретний сигнал, який подається у вигляді масиву або послідовності. Ця послідовність, що визначена сукупністю впорядкованих пар чисел є такою:

$$X = \{x(n_1, n_2)\} \quad -\infty < n_1, n_2 < \infty. \quad (9)$$

Окрім елементи послідовності будуть при цьому висотами точок земної поверхні, $x(n_1, n_2)$ є відліком послідовності X в точці (n_1, n_2) , n_1, n_2 - цілі числа.

Експериментальні дослідження проводились на спеціально створеному макеті та на цифровій моделі реального рельєфу земної поверхні. На рис. 1 приведено вказаний макет поверхні, що є чотирьохгранною пірамідою. Отже кожна з граней має однаковий схил і відрізняється тільки експозицією, тобто орієнтуванням. Цифрова модель рельєфу даного макету подана висотами в перехрестях регулярної сітки.

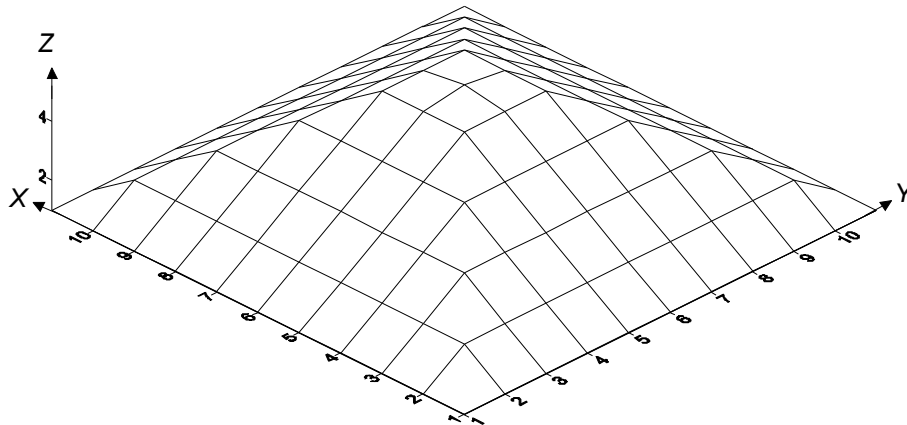


Рис. 1. Зображення макета рельєфу.

При виконанні розпізнавання об'єкт сканувався вікном розміром 2×2 клітини. В табл. 1 приводяться функції розв'язку, коли еталоном взято північний схил. Аналіз значень цієї таблиці показує, що для всіх вікон західної грані піраміди функція розв'язку, тобто евклідова відстань між еталоном і рельєфом, що попадає у вікно, дорівнює нулю. Для протилежної південної грані функція розв'язку має найбільше значення 4, а для східної та західної граней значення вказаної функції дорівнює 3. В

табл. 2 дані аналогічні результати розпізнавання західного схилу. Тут теж для протилежного схилу функція розв'язку досягає найбільшого значення.

Можна зауважити, що коли центр скануючого вікна попадає на ребро піраміди, функція розв'язку теж набуває відповідного значення. Крім того, на даному макеті виконувались дослідження і для решту граней піраміди, тобто схилів іншої експозиції. Вони в статті не приводяться.

Таблиця 1- Значення функції розв'язку для еталона схил з північною експозицією.

9	2	1	0	0	0	0	1	2
8	3	2	1	0	0	0	1	2
7	3	3	2	1	0	1	2	3
6	3	3	3	2	1	2	3	3
5	3	3	3	2	2	2	3	3
4	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	4	4	4	3	3
2	3	3	4	4	4	4	4	3
1	3	4	4	4	4	4	4	3
X/Y	1	2	3	4	5	6	7	8

Таблиця 2 - Значення функції розв'язку для еталона схил із західною експозицією.

9	2	2	3	3	3	3	3	3
8	1	2	3	3	3	3	3	4
7	0	1	2	3	3	3	3	4
6	0	0	1	2	2	3	4	4
5	0	0	0	1	2	3	4	4
4	0	0	1	2	2	3	4	4
3	0	1	2	3	3	3	3	4
2	1	2	3	3	3	3	3	4
1	2	3	3	3	3	3	3	4
X/Y	1	2	3	4	5	6	7	8

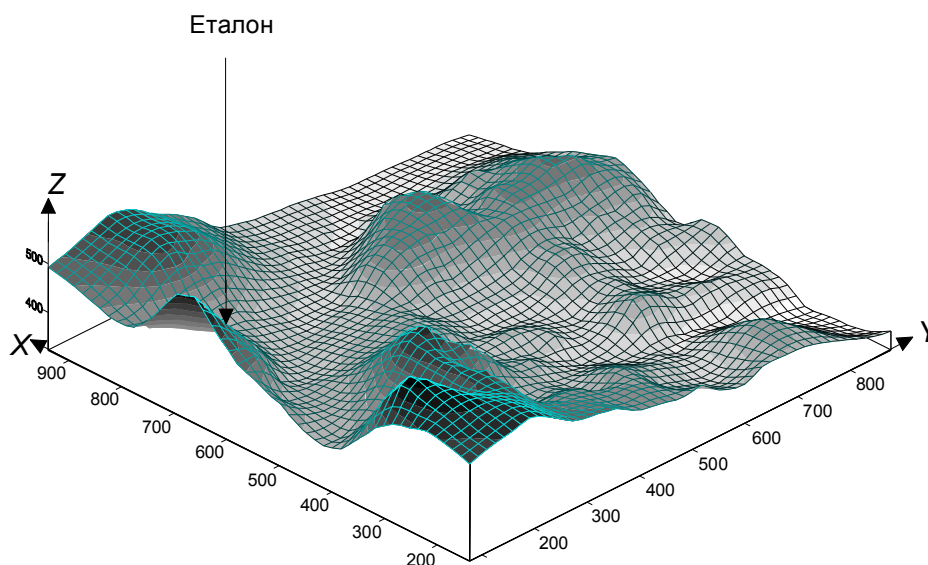


Рис.2. Зображення рельєфу.

В табл. 3 приведені результати розпізнавання певним чином орієнтованих схилів для фрагмента рельєфу, що показаний на рис.2. Центр еталона показано стрілкою.

За цифровою картою масштабу 1:100000 з рельєфом, що поданий цифровою моделлю, створювалась регулярна сітка. Тобто рельєф був поданий висотами в перехрестях даної сітки. В табл. 3 приводяться значення функції розв'язку, що відповідають формі рельєфу у вікні 3x3 перехресть регулярної сітки, якою подана цифрова модель рельєфу. Значення функції розв'язку для еталона дорівнює нулю. Значення функції розв'язку, що мають величину менше 100 в табл. 3 підкреслені. Вони відповідають вікнам, в яких рельєф подібний до рельєфу еталона. Вікна, в яких функція розв'язку

досягає значень більше 200, є схилами, що мають нахил протилежний до нахилу еталона.

Вважається, що система розпізнавання R_1 краща ніж R_2 , якщо імовірність помилитись для системи R_1 є меншою, ніж для системи R_2 , якщо задано M класів образів $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ і n - датчиків видають інформацію про кожен об'єкт у вигляді векторів $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$. При цьому кожен датчик видає певну характеристику. Якщо припустити, що імовірність появи образу того чи іншого класу однакова, то імовірність того, що вектор x належить до класу ω_i , визначається таким виразом [3]:

$$P_i = P(x|\omega_i) / \sum_{k=1}^M P(x|\omega_k) . \quad (10)$$

Імовірність того, що вектор x не належить до класу ω_i буде такою:

$$1 - P_i = 1 - P(x|\omega_i) / \sum_{k=1}^M P(x|\omega_k). \quad (11)$$

Функція розв'язку чи дискримінантна функція $d(x)$ відносить x до одного з M класів. Оптимальною буде така $d(x)$, яка має найменшу імовірність помилки для всіх x . Вона відносить вектор x до класу ω_i , якщо

$$P(x|\omega_i) > P(x|\omega_j), \forall_{j \neq i}. \quad (12)$$

Отже процес прийняття рішень в розпізнаванні образів розглядають як задачу статистичного характеру. Вважається, що система розпізнавання допускає похибку в тому випадку, коли вона відносить до класу Б об'єкт, що належить чи відноситься до класу А. Кращою вважається та система розпізнавання, яка має меншу імовірність допустити похибку.

Таблиця 3 - Значення функції розв'язку при розпізнаванні схилів заданої експозиції.

	309	316	235	206	189	209	231	229	196	196	196	178	196	187	224	234	198	171
	130	122	116	120	156	192	190	145	141	167	141	139	156	195	223	187	118	114
900	140	141	125	137	177	197	175	137	128	128	144	167	171	205	214	142	106	128
	167	130	106	156	200	193	157	129	137	149	167	165	163	203	189	127	128	168
800	153	<u>98</u>	112	188	222	186	130	146	153	166	174	143	173	193	165	128	169	199
	116	<u>74</u>	153	240	233	165	126	124	167	180	150	137	178	188	123	161	197	219
700	<u>0</u>	123	204	282	250	135	124	112	192	191	133	148	146	124	150	200	232	230
	101	133	259	287	224	126	115	152	192	177	132	134	115	147	184	233	256	218
600	119	188	287	265	<u>95</u>	116	178	191	172	155	148	103	148	177	206	229	232	209
	123	222	277	213	<u>83</u>	135	178	171	144	116	112	132	195	206	207	227	213	174
500	158	228	250	201	113	151	168	139	122	<u>99</u>	130	182	270	235	209	231	159	114
	221	236	226	189	113	141	152	108	<u>95</u>	121	148	263	300	198	182	186	112	123
400	286	246	205	172	119	142	132	<u>78</u>	104	127	202	286	255	140	140	134	<u>99</u>	137
	325	214	161	143	127	137	101	<u>78</u>	107	152	259	281	187	130	128	<u>94</u>	<u>96</u>	130
300	315	140	126	123	132	123	<u>88</u>	<u>83</u>	114	210	265	212	126	130	134	123	105	143
	225	137	130	128	137	106	<u>77</u>	<u>85</u>	156	250	248	156	103	151	159	110	143	165
200	183	143	140	133	120	<u>96</u>	<u>59</u>	102	207	246	174	103	127	157	167	142	144	162
	151	140	148	143	117	<u>68</u>	<u>81</u>	134	214	213	116	112	140	166	183	149	118	128
	136	144	172	145	<u>67</u>	<u>71</u>	117	168	187	157	125	131	143	204	200	146	133	162
X\Y		200		300		400		500		600		700		800		900		

Однак в даному випадку нашою є тенденція до наступної складності. При розрахунку точності розпізнавання через нечітку визначеність форм земної поверхні є можливою певна доля суб'єктивізму, тому в таблицях приводяться повністю результати розпізнавання. По значеннях функції розв'язку і подібності відповідних форм рельєфу до взятого еталона можна судити про якість системи розпізнавання, а підставивши отримані дані в формулу (10), отримати кількісний показник.

Операція класифікації полягає в розподілі об'єктів за категоріями чи класами. При цьому кількість класів може збільшуватись при вдосконаленні датчиків. Операцію попередньої обробки можна

вважати фільтрацією. Оскільки кількість проявів, що характеризують той чи інший об'єкт, може бути нескінченно великою, то практично вибирають деяку обмежену кількість ознак.

В приведеному прикладі, якщо класифікувати схили певної протяжності та орієнтування, всі вони розпізнаються. Основним недоліком даної системи можна вважати вибір величини чи межі функції розв'язку. Цей вибір здійснюється, головним чином, інтуїтивно. Однак практичні експерименти підтверджують, що даний недолік не є суттєвим. Значення функції розв'язку досягають величини 100 (це приблизно третя частина від максимального значення, в табл. 3 підкреслено). Форми рельєфу,

що падають в дані вікна, можна вважати схилами подібними до еталона.

Суттєвою перевагою даної методики є те, що подібність чи відмінність тієї чи іншої ділянки земної поверхні виражається в цифровій формі і може здійснюватись по цифровій моделі рельєфу практично в режимі реального масштабу часу. Виділені таким чином ділянки земної поверхні мають певну експозицію і отримують відповідний коефіцієнт при рекреаційній оцінці рельєфу. Крім того, методика може використовуватись і в інших прикладних задачах, де є необхідність виділяти ділянки земної поверхні з певною формою рельєфу.

1. Берлянт А.М. Использование карт для целей прогноза. // Картография - Итоги науки и техники.

Т. 7. - М., 1976. - С. 22-36. 2. Горішній П.М. Морфометрична оцінка рельєфу східної частини Українського Розточчя. Природа Розточчя. Ів.-Франкове. 1999. С.46-50. 3. Дж. Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов. - М. Мир, 1978. 411с. 4. Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности (принципы и методы статистической геоморфологии) - Л.: Недра, 1991. - 340 с. 5. Рудий Р.М. Виділення об'єктів з цифрової моделі рельєфу з використанням теорії розпізнавання образів. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. - 1997. - №58. - С. 207-212. 6. Sharif, M. Terrain Morphology Modelling. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing - 18th ISPRS Congress, Vienna, Austria, 1996. Commission 3, P. 792-797.

УДК 621.3:539.6

КОМП'ЮТЕРНЕ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ, МАТЕМАТИЧНОЮ ОСНОВОЮ ЯКИХ Є РІВНЯННЯ ЛАПЛАСА АБО ПУАССОНА

© Сенчик В.М., Чернов Б.О., Лавинюкова Т.Г., 2001

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

Подані окремі результати розробленої сучасної комп'ютерної технології дослідження напружено-деформованого стану пружних стержнів довільного перерізу, а також обговорюється можливість поширення новітніх технологій на широкий клас задач-аналогів.

За останні роки методики роботи інженерів, наукових працівників змінилися докорінно. Стрімке зменшення габаритів і зниження вартості сучасних ЕОМ із одночасним розширенням їх можливостей призвело до повсюдного використання комп'ютерів у різних галузях науки і техніки. Питання "Як можна сформулювати дану задачу на комп'ютері?" змушує по-новому подивитись на попередні задачі і дає змогу розглядати більш складніші [1].

В роботі [2] запропонована інформаційна технологія дослідження напружено-деформованого стану пружних стержнів довільного перерізу. Ефективний підхід використовує новий варіант методу Монте-Карло, в якому апостеріорні перехідні ймовірності у схемі випадкових блукань вперше замінені апіорними. Це призводить до суттєвого прискорення обчислень, що досягається застосуванням спеціального обчислювального шаблону у формі симплекс-елемента. Вдале поєднання ймовірнісних ідей методу Монте-Карло і барицентричних координат симплексу звільняє від необхідності складати і розв'язувати великі системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Традиційне нанесення сітки скінченних елементів на досліджувану область також стає не потрібним,

досить передбачити обертання симплекса, який транслює граничну інформацію у досліджувану точку. Розроблені математичні моделі і написані ефективні та зручні у користуванні комп'ютерні програми, що реалізують алгоритми способу обертання симплексу (СОС). Розроблена і описана технологія комп'ютерної реалізації СОС на прикладах стаціонарної температурної задачі [3] та задачах кручення пружних стержнів складного перерізу [4].

Задача побудови стаціонарного поля температур всередині деякої області при заданій температурі на границі цієї області зводиться до розв'язування задачі Діріхле для рівняння Лапласа.

Подамо стислий виклад основних результатів комп'ютерного аналізу задачі про стаціонарний розподіл температур в квадратній пластині [6]. Ця задача з геометрично простою областю приваблива тим, що на ній можна порівняти різні обчислювальні методи і прослідкувати за перевагами і недоліками кожного з них.

Нехай потрібно знайти стаціонарний розподіл температур в квадратній пластині, на сторонах якої $x=0$ і $x=1$ підтримується температура 0 і 100°C