

**ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ ПАРАМЕТРІВ МАСИВУ НА ЗСУВНІ ПРОЦЕСИ  
В МІСТІ ДНІПРОПЕТРОВСЬКУ**

(Представлено д.т.н., проф. Бакка М.Т.)

*Розроблено методика визначення впливу геометрії параметрів зволожуючого масиву на зсувні процеси на основі математико-статистичних прийомів.*

**Актуальність задачі.** Розвиток зсувних процесів на території міста Дніпропетровська належить до ерозійної системи правобережжя р. Дніпро, де зосереджені 15 великих балок і більше 20 ярів, що займають площу 5000 га. Динаміка основних видів землекористування свідчить про високе навантаження міської території промисловими підприємствами (25 % від загальної площі), серед яких 30 % з водоймовою технологією виробництва. Найбільш характерними ділянками прояву зсувів є забудовані схили балок і ярів.

Зсувні процеси заподіюють не тільки великий збиток народному господарству міста, але й спричиняють значні витрати матеріальних ресурсів для забезпечення стійкості зсувних територій та розташованих на них житлових будинків і споруд, завдають величезної шкоди комунальним об'єктам і транспортним сполученням.

В матеріалах з вивчення зсувних явищ у м. Дніпропетровську не завжди достатньо висвітлюються питання динаміки зсувних процесів і факторів, що впливають на формування цих процесів. Кожний фактор має свої основні характеристики, що визначають його вплив на розвиток і утворення явищ і процесів. Тому дослідження впливу факторів (геометрії параметрів масиву) на зсувні процеси схилів балок і обґрунтування на цій основі параметрів зсувів є досить актуальним.

**Аналіз останніх публікацій.** Вивченню екзогенних геологічних процесів присвячені роботи багатьох відомих вчених: Гавриленко Ю.М., Гулакян К.А., Смельянової О.П., Золотарьова Г.С., Кюнтцеля В.В., Ниязова І.В., Петрова Л.П., Постоева Г.П., Рогозина А.І., Тер-Степаняна Г.І., Шадунца К.Ш., Шеко А.І. й ін. Більшість цих досліджень ґрунтується на вивченні основних закономірностей зсувних і схилових процесів, умовах їх виникнення і розвитку, методах натурних досліджень і організації протизсувних укріплень.

**Ціль досліджень полягає в** обґрунтуванні впливу геометрії параметрів масиву на зсувні процеси за допомогою математико-статистичних прийомів моделювання на схилах балок м. Дніпропетровська.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** При вивченні різних геодинамічних процесів у геодезії і маркшейдерії часто доводиться мати справи з явищами або показниками, характер або значення яких можуть розглядатися як випадкові величини. Застосування математико-статистичних прийомів у даній роботі передбачає вивчення за гіпсометричними планами просторових і часових статистичних сукупностей. На планах ці сукупності утворюють статистичні поверхні з мінімумами й максимумами, які найчастіше передаються ізолініями [1]. Багато явищ, що залишилися поза зоною уваги, стають виразними, якщо знайти їх характерне графічне зображення. Візуальні методи аналізу надзвичайно важливі.

Між розвитком зсувних процесів і факторами, що їх формують, існують певні зв'язки. Ці зв'язки можуть бути досить складними й різноманітними. На ступінь зміни однієї величини (показника) можуть впливати зміни декількох величин (факторів). Тому методи дослідження цих зв'язків, їхні числові характеристики й аналіз становлять важливу частину методології досліджень зсувних явищ.

У даній роботі статистична обробка виконувалася за результатами маркшейдерсько-геодезичних спостережень, інженерно-геологічних вишукувань на зсувній ділянці "Сокіл" схилу балки "Свпаторійська". Застосовуючи статистичну обробку щодо отриманих результатів, вирішувалися такі задачі:

- визначення статистичних показників, законів їх розподілу (зсувних зміщень) і факторів (геометрії параметрів масиву);
- аналіз форми та близькості зв'язку між показниками і факторами;
- оцінка й ступінь впливу окремих факторів на зсувні процеси і визначення основних факторів, що формують їх утворення й розвиток;
- розробка методики районування зсувних схилів за допомогою статистичних поверхонь.

За існуючою класифікацією [1] досліджувані показники з якісної оцінки належать до показників статистичних властивостей будь-яких масових явищ і процесів за кількісною оцінкою – до відносних показників, що характеризують взаємозв'язок *результативних показників (y) – наслідків* (параметри зміщень зсувних процесів) з *факторними показниками (x)-причинами* (показниками геометричних параметрів

масиву, що сформували ці процеси). Далі величина  $y$  буде називатись показником, величина  $x$  – фактором.

Статистичні дослідження виконувалися в такій послідовності: побудова гіпсометричних планів статистичних поверхонь і гістограм показників, котрі визначають закон розподілу; встановлення форми зв'язку й розрахунок близькості зв'язку показників методом кореляційно-регресійного аналізу і моделювання.

Побудова статистичних поверхонь показників і факторів в ізолініях і гістограм розподілів виконано за даними натурних інструментальних спостережень та інженерно-геологічних вишукувань. Представлені гістограми показують, яку частку займає значення того або іншого показника, і який загальний розподіл показників (рис. 1, 2). Наприклад для статистичної поверхні кутів нахилу водотривкого шару найбільш часто зустрічається (модальний) кутовий шабель, що становить  $4,59^\circ$  і  $8,89^\circ$ , середнє значення кута –  $4,32^\circ$ . На підставі цього можна підібрати теоретичну криву, що апроксимує емпіричний розподіл, описати її відомими рівняннями й виявити статистичний закон розподілу явища. З'ясування типу розподілу дозволяє класифікувати, групувати об'єкти (показники) для районування схилів.

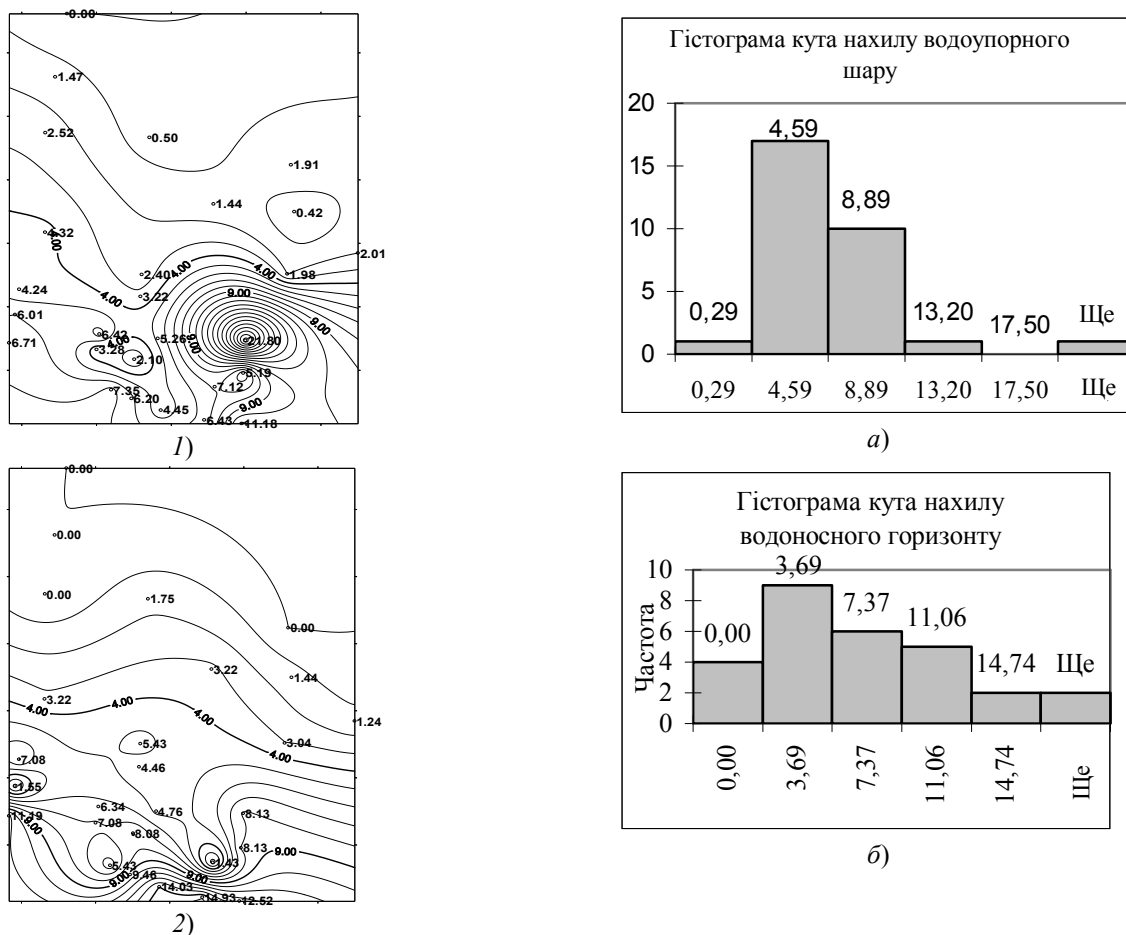
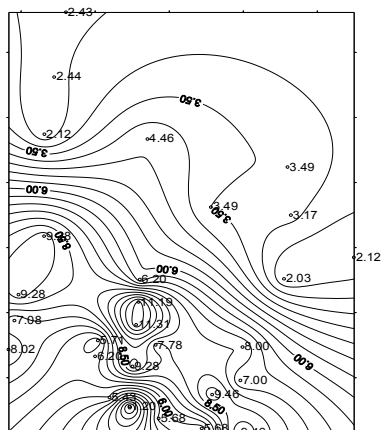
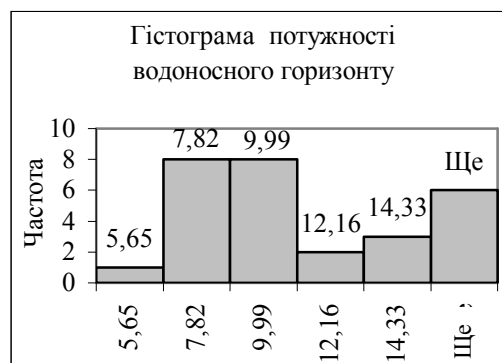
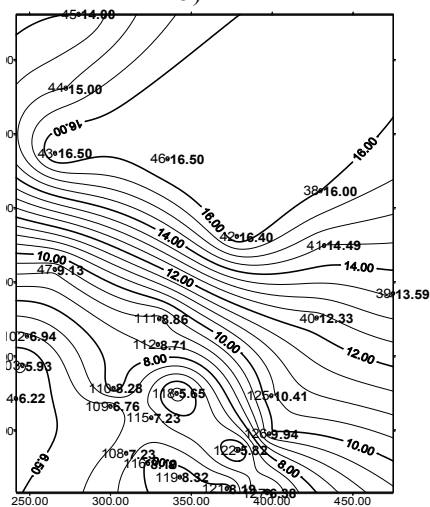


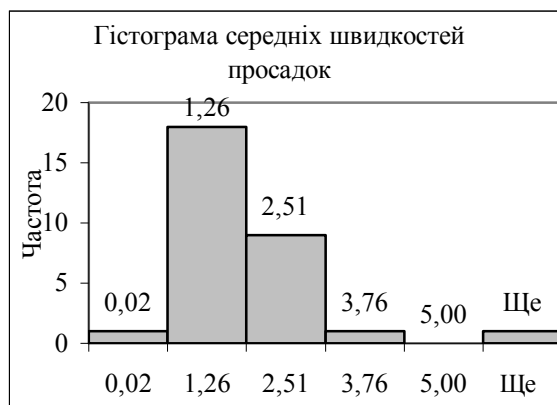
Рис. 1. Статистичні поверхні показників і типи гістограм їх розподілу:  
 1) кути нахилу водоупорного шару, а) правий асиметричний мономодальний;  
 2) кути нахилу водоносного горизонту, б) правий асиметричний мономодальний;



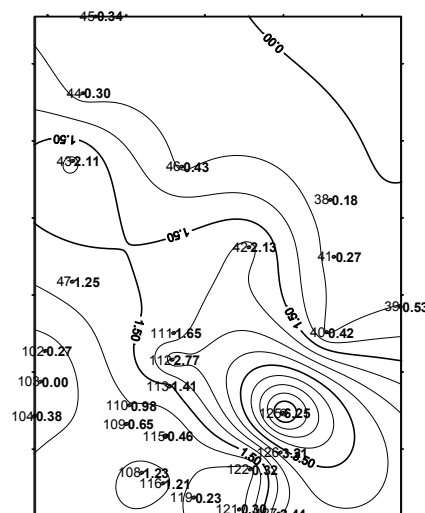
б)



з)



5)



д)

Рис. 2. Статистичні поверхні показників, типи гістограм їх розподілу:

3) кути нахилу схилу, в) правий асиметричний двомодальний;

4) потужність водоносного горизонту, з) двомодальний;

5) середні швидкості просідання пунктів, д) правоасиметричний моноmodalний

Маючи набір подібних розподілів і розрахувавши для них теоретичні функції можна вирішувати зворотні задачі: за формою гістограм і виду функцій можна виділяти типи схилів, поверхні ковзання, рівні підземних вод у межах якої-небудь території.

Особлива роль належить статистичним прийомам виявлення зв'язків між явищами. З цією метою використовується різноманітний апарат кореляційного аналізу, що створює основу для більш тонких видів аналізу: дисперсійного, факторного, регресійного і т. ін., що є найбільш перспективними математичними моделями.

При дисперсійному аналізі проводиться порівняння двох вибірових дисперсій. Із груп даних виділені групи показників і виконаний однофакторний дисперсійний аналіз (табл. 1). Спостережувальні пункти розділені на дві групи: перша група – пункти розташовані в забудованій верхній частині схилу, друга – на природному схилі в середній і нижній його частинах. Наприклад за даними табл. 1 можна перевірити гіпотезу  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots$ , тобто, величина кута нахилу водоносного горизонту ніяк не впливає на середню швидкість осідань пунктів, розташованих у верхній частині забудованого схилу. Оцінка виконується за допомогою  $F$ -критерію Фішера:  $F = s^2_{факт.}/s^2_{ост.}$ . Отримане значення  $F_{факт.} = 25,56$ , а критичне значення  $F$ -критерію з таблиць  $F_{табл.} = 4,13$ . Таким чином,  $F_{факт.} > F_{табл.}$ , отже гіпотеза  $H_0$  відхиляється. Дійсно, кут нахилу водоносного горизонту є впливовим фактором на середню швидкість осідань пунктів першої групи.

Таблиця 1

## Однофакторний дисперсійний аналіз

Джерело варіації	SS	df	MS	$F_{факт.}$	P-значення	$F_{табл.}$
Середня швидкість осідань пунктів і гулянь нахилу поверхні водоносного горизонту						
Між групами	365,714	1	365,7140	25,5613	0,00002	4,1393
Всередині груп	472,142	33	14,3073			
Разом	837,856	34				
Джерело варіації						
Середня швидкість осідань пунктів і потужність порід до водотривкого шару						
Між групами	1018,504	1	1018,504	364,3548	0,0000	4,3512
Всередині груп	55,9073	20	2,7953			
Разом	1074,412	21				
Джерело варіації						
Середня швидкість горизонтальних зміщень пунктів і потужність порід до водотривкого шару						
Між групами	1692,961	1	1692,961	461,676	2,74E-15	4,3512
Всередині груп	73,3397	20	3,6670			
Разом	1766,301	21				

З даних табл. 1 видно, що вплив геометричних факторів масиву (кути нахилу поверхні водоносного горизонту, потужність порід до водоносного горизонту, водотривкого шару й ін.) на середню швидкість горизонтальних і вертикальних зміщень є досить значним.

Для визначення причинної залежності показника  $u$  (зсувних зміщень) від факторів  $x$  (геометрії параметрів масиву) крім виконання дисперсійного аналізу визначався кореляційний зв'язок.

Застосування кореляційного зв'язку дозволяє виміряти параметри рівняння, що виражає зв'язок середніх значень залежної змінної із значеннями незалежної змінної (залежність середніх величин параметрів зсувних зміщень від значень одного або декількох факторних показників); близькість зв'язку двох (або більшого числа) показників між собою.

Кореляційний аналіз дозволяє:

- виділити найважливіші геометричні параметри масиву, що впливають на зсувний процес;
- виконати прогнозування параметрів зміщень при заданих показниках факторів масиву;
- визначити форму і близькість зв'язку між параметрами зсувних зміщень з геометричними параметрами масиву.

Найпростішою системою кореляційного зв'язку є лінійний зв'язок між двома показниками – парна лінійна кореляція. Рівнянням парного лінійного кореляційного зв'язку є рівняння парної регресії:

$$\bar{y} = a + bx, \quad (1)$$

де  $\bar{y}$  – середнє значення результативної ознаки  $b$ , при певному значенні факторної ознаки  $x$ ;  $a$  – вільний член рівняння;  $b$  – коефіцієнт регресії. Вільний член рівняння регресії  $a$  обчислюється за формулою (2):

$$a = \bar{y} - bx \tag{2}$$

Оскільки розрахунок рівняння кореляційного зв'язку (1) ведеться відносно первинних даних  $x_i, y_i$ , то зручніше для обчислення коефіцієнта регресії  $b$  формула (3) [2]:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \tag{3}$$

де  $x_i, y_i$  – індивідуальні значення результативної і факторної ознак для кожної одиниці сукупності.

Параметри  $a$  й  $b$  оцінюються на підставі спостережуваних значень фактора і показника. У парній регресії спочатку вибирається вид зв'язку між фактором і показником. Перш ніж обчислювати коефіцієнт кореляції, будують графік поля кореляції у вигляді крапкових діаграм [1] (рис. 3). Вид кореляційної залежності вибирають виходячи з конфігурації кореляційного поля. Всі обчислення і побудова графічних зображень виконуються в пакеті програми Excel.

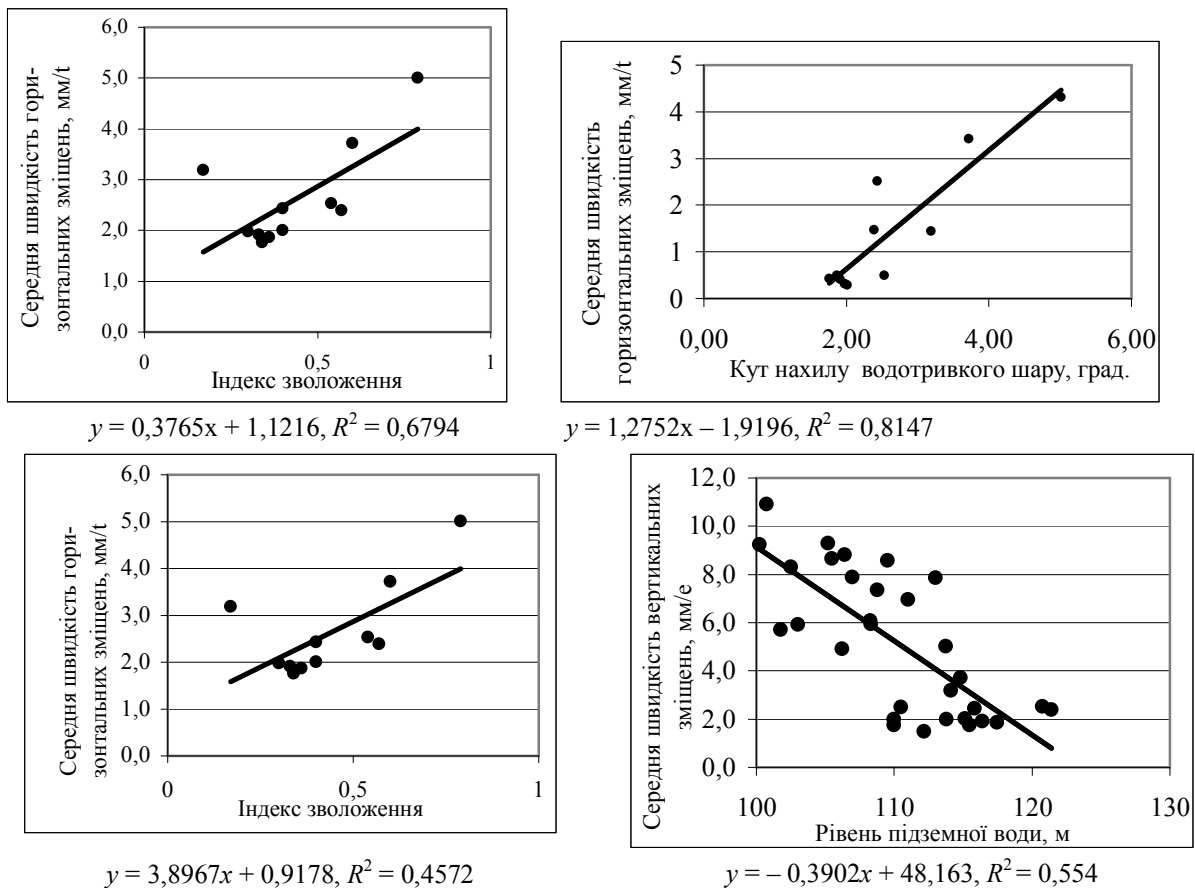


Рис. 3. Графіки поля кореляції й рівнянь регресії результативних і факторних (лінійних) показників на схилі ділянки «Сокил»

За конфігурацією поля кореляції можна відразу судити про форму й тісноту зв'язку. Коефіцієнт парної лінійної кореляції  $r$  обчислюється в тих випадках, коли поле кореляції досить прямолінійне, тобто існують лінійні зв'язки  $f = a + bx$ . Прикладом припустимого виду зв'язків можуть бути інші рівняння парної регресії. Однак, як видно на рис. 3 та 4 існують зв'язки, які добре описуються логарифмічними  $f = a + b \ln$ , параболічними  $f = a + bx^2 + bx$ , експонентними  $f = e^{a+bx}$  й іншими рівняннями.

Комп'ютерні програми регресійного аналізу дають можливість на підставі прийнятого критерію вибрати найбільш адекватну модель (табл. 5).

Таблиця 2

Типи і рівняння кореляційного зв'язку

Фактори	Тип зв'язку	Рівняння зв'язку	Коеф. детермінації, R <sup>2</sup>
<i>Перша група пунктів</i>			
<i>Показник у – середня швидкість горизонтальних зміщень</i>			
Кут нахилу водоносного горизонту, град.	Параболічний	$y = 0,2464x^2 - 0,4117x + 2,3182$	0,3129
Кут нахилу схилу, град.	Параболічний	$y = 0,051x^2 - 0,1716x + 2,2736$	0,7504
Дирекційний кут залягання ізоліній водоупорного шару, град.	Параболічний Експоненціальний	$y = 0,0004x^2 - 0,105x + 8,971$ $y = 0,693e^{0,0074x}$	0,4802 0,4593
Дирекційний кут залягання ізоліній водоносного горизонту, град.	Лінійний Параболічний	$y = 0,0554x - 5,5075$ $y = 0,00007x^2 + 0,0293x - 3,2005$	0,2755 0,2762
Потужність до водоносного горизонту, м	Параболічний Логарифмічний	$y = 0,089x^2 - 2,6317x + 21,627$ $y = -3,7169\ln(x) + 12,5$	0,6592 0,4633
Рівень підземної води, м	Параболічний	$y = 0,0943x^2 - 22,302x + 1,320$	0,3681
Індекс обводнення	Параболічний Експоненціальний	$y = 19,004x^2 - 14,47x + 4,7971$ $y = 1,4528e^{1,2257x}$	0,8814 0,4142
<i>Друга група пунктів</i>			
<i>Показник у – середня швидкість вертикальних зміщень</i>			
Потужність водоносного горизонту, м	Параболічний	$y = 0,58x^2 - 7,6131x + 23,81$	0,397
Потужність до водоносного горизонту, м	Параболічний Експоненціальний	$y = 0,2919x^2 - 3,1856x + 8,7959$ $y = 0,0261e^{0,4735x}$	0,6647 0,315
Рівень підземної води, м	Параболічний	$y = 0,0386x^2 - 3,9405x + 408,58$	0,2747
Індекс обводнення	Параболічний	$y = 6,5125x^2 - 13,352x + 7,707$	0,2896

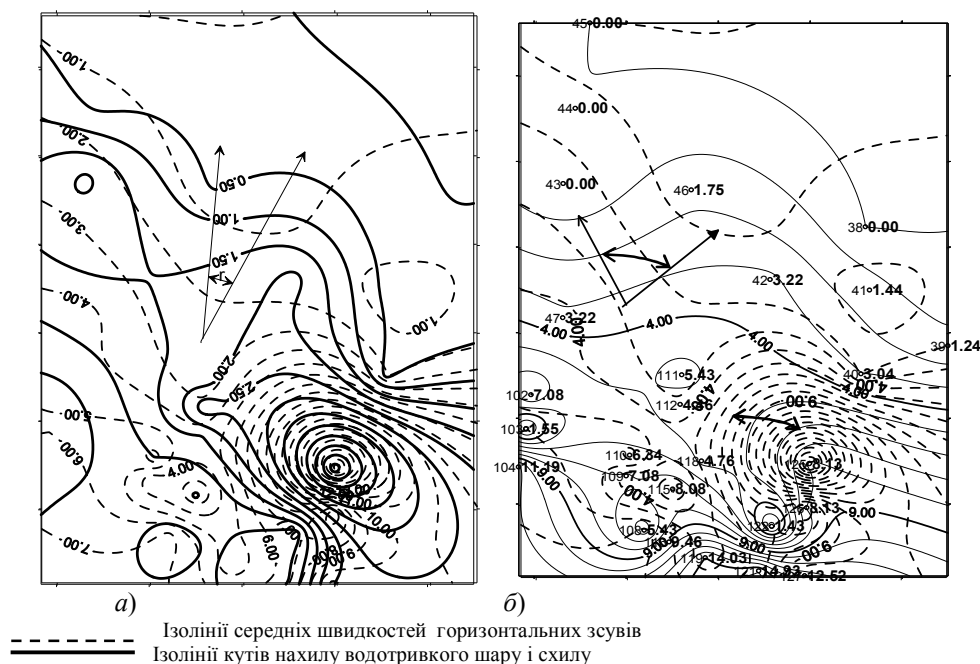


Рис. 4. План середніх швидкостей зсувів і кутів нахилу водотривкого шару на схилі балки «Євпаторійська»

Працюючи зі спостережуваними даними, часто буває необхідно одержати попередню оцінку коефіцієнта кореляції. Для цього можна використовувати статистичні поверхні показників параметрів зсувних зміщень і факторів (рис. 4).

Встановлено [2], що величина коефіцієнта кореляції  $r$  залежить від кута, розташованого між напрямками градієнтів (закладень) поверхонь, що зіставляються  $r = \cos\alpha$ ;  $r = \cos\alpha$ , причому значення  $r$  укладені в межах  $\cos 0^\circ \geq r \geq \cos 180^\circ$ . Приклад оцінки  $r$  за косинусом кута між градієнтами статистичних поверхонь середніх швидкостей горизонтальних зсувів і кута нахилу водотривкого шару і рельєфу показаний на рис. 4, а, 4, б. Кут між напрямками градієнтів статистичних поверхонь становить  $28^\circ$  і  $65^\circ$ ,  $r_1 = \cos 28^\circ = 0,88$ ,  $r_2 = \cos 64^\circ = 0,42$ .

Визначені таким шляхом значення коефіцієнтів близькі до обчисленого значення  $r_1 = 0,898$ ,  $r_2 = 0,487$  за повною формулою. Зазначене вище обчислення кореляційної залежності зручно застосовувати до планів у ізолініях, тобто, коли можна одержати вибірку великого обсягу. Але це не завжди можливо.

Надійність установлення кореляційного зв'язку перевіряють за випадковою середньою похибкою коефіцієнта кореляції, що обчислюється по формулі (4):

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{(n - 2)}}, \quad (4)$$

Знаючи середню похибку оцінки коефіцієнта регресії  $m_r$  і значення самого коефіцієнта  $r_{x,y}$ , обчислюють їх відношення – значення  $t$  – критерію Стьюдента (5):

$$t = \frac{r^2}{m_r}. \quad (5)$$

Надійність установленого зв'язку перевіряється порівняно табличного значення t-критерію Стьюдента ( $t_{крит.}$ ) і обчисленого ( $t_{факт.}$ ) при рівні значущості 0,1 або 0,05 (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів парної кореляції і статистична оцінка надійності

Фактори	Кут нахилу водотривкого шару	Кут нахилу водоносного обр'ю	Кут нахилу схилу	Дир. кут падіння водотривкого шару	Дир. кут падіння водоносного обр'ю
	градус	градус	градус	градус	градус
Середня швидкість горизонтальних зміщень					
Перша група пунктів	0,9092	0,467	0,811	0,369	-0,157
mr	0,0613	0,2726	0,121	0,3053	0,3449
P = 0,05, $t_{крит.} = 2,36$	<b>14,834</b>	<b>1,689</b>	<b>7,274</b>	<b>2,867</b>	<b>0,764</b>
Друга група пунктів	0,3460	0,1631	0,080	0,155	-0,325
mr	0,2075	0,2294	0,2338	0,2203	0,2170
P = 0,05, $t_{крит.} = 2,13$	<b>1,668</b>	<b>0,7107</b>	<b>0,385</b>	<b>1,162</b>	<b>1,300</b>
Перша і друга група	0,6709	0,494	0,446	0,271	-0,261
mr	0,1039	0,1429	0,1673	0,1369	0,1772
P = 0,1, $t_{крит.} = 2,06$	<b>6,4559</b>	<b>3,4578</b>	<b>2,0245</b>	<b>3,8338</b>	<b>1,4111</b>

Середня швидкість вертикальних зміщень					
Перша група	-0,097	-0,215	-0,302	-0,560	-0,072
mr	0,3502	0,3372	0,3213	0,2427	0,3517
P = 0,1, $t_{крит.} = 2,36$	-0,277	-0,6376	-0,9399	-2,3076	-0,2047
Друга група	0,682	0,091	-0,282	0,471	-0,455
mr	0,1261	0,2337	0,2170	0,1834	0,1869
P = 0,1, $t_{крит.} = 2,13$	5,4096	0,3906	-1,2996	2,5680	-2,4344
Перша й друга	-0,016	-0,044	-0,048	-0,125	-0,061
mr	0,189	0,187	0,187	0,186	0,188
P = 0,1, $t_{крит.} = 2,04$	-0,086	-0,232	-0,253	-0,673	-0,323

При обчисленні коефіцієнта кореляції показники факторів масиву були розділені на кутові й лінійні елементи (табл. 3, 4). З величин коефіцієнтів кореляції впливає, що швидкість горизонтальних і вертикальних зміщень пунктів першої групи перебуває в близькій залежності від кута нахилу передбачуваної поверхні ковшання ( $r = 0,91$ ;  $t_{крит.} = 14,83$ ;  $r = 0,62$ ;  $t_{крит.} = 2,71$ ), кута нахилу поверхні схилу ( $r = 0,82$ ;  $t_{крит.} = 7,27$ ) і меншою мірою – кута нахилу водоносного горизонту ( $r = 0,48$   $t_{крит.} = 1,69$ ), при  $p = 0,05$ ;  $t_{табл.} = 2,36$ . У тісній, але зворотній залежності перебувають горизонтальні зміщення пунктів першої групи й пунктів усього масиву від відстані до водоносного горизонту ( $r = -0,64$ ,  $t_{крит.} = 3,01$ ,  $r = -0,67$ ,  $t_{крит.} = 6,43$ ). Вертикальні зміщення пунктів першої групи і горизонтальні зміщення пунктів другої групи та пунктів, розташованих по всьому схилу масиву обернено залежать від рівня підземної води ( $r = -0,56$ ,  $r = -0,54$ ,  $r = -0,74$ ), тобто чим ближче рівень підземних вод, тим більші показники горизонтальних зміщень.

Швидкість осідань пунктів другої групи слабо залежить від кута схилу водоносного горизонту, але перебуває в тісній залежності від потужності порід до рівня водоносного горизонту рівня підземної води й індекса зволоження.

Для рівня значущості  $p = 0,05$  і ступенів волі 29  $t_{крит.} = 2,04$ , отримане значення  $t_{факт.} = 4,33$  надійно говорить про вплив кутів нахилу водотривкого шару на швидкість осідань пунктів розташованих по всьому масиву (табл. 3, 4). При значенні  $t_{факт.}$  менше табличного і якщо перевіряється фактор, що, насправді, не міг не впливати на результативну ознаку, отже за досліджуваною інформацією зв'язок надійно не встановлений.

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів парної кореляції і статистична оцінка надійності

Фактори	Потужність порід до водоносного горизонту	Потужність порід до водотривкого шару	Потужність водоносного горизонту	Рівень підземних вод	Індекс зволоження
	М	М	М	М	
Середня швидкість горизонтальних зміщень					
Перша група пунктів	-0,6350	-0,4091	0,2700	-0,319	0,676
$r$	0,211	0,2944	0,3278	0,3176	0,1920
$P = 0,05, t_{крит.} = 2,36$	3,0096	1,390	0,8237	1,0045	3,5211
Друга група пунктів	-0,216	-0,3037	-0,2230	-0,5400	-0,156
$r$	0,2196	0,2110	0,2240	0,1670	0,2300
$P = 0,05, t_{крит.} = 2,13$	1,1883	1,4194	0,9956	3,2341	0,6784
Перша і друга група	-0,6700	-0,6221	-0,011	-0,744	0,328
$r$	0,1041	0,1158	0,1890	0,0844	0,1687
$P = 0,05, t_{крит.} = 2,04$	6,4331	5,3698	0,0582	8,8179	1,9448
Середня швидкість вертикальних зміщень					
Перша група пунктів	0,6256	0,4656	0,236	0,597	0,136
$r$	0,2152	0,2769	0,3339	0,2275	0,3470
$P = 0,05, t_{крит.} = 2,36$	2,9073	1,6816	0,7069	2,6237	0,3919
Друга група пунктів	0,5235	-0,193	-0,040	0,173	-0,151
$r$	0,1711	0,2269	0,2353	0,2286	0,2308
$P = 0,05, t_{крит.} = 2,13$	3,0603	-0,8505	-0,1700	0,7566	-0,6556
Перша і друга група	0,100	0,091	0,182	0,389	-0,008
$r$	0,1871	0,1819	0,1827	0,1604	0,1847
$P = 0,05, t_{крит.} = 2,06$	0,5345	-1,0608	0,9960	2,4254	-0,8177

Судячи з величини  $t$ -критерію, найбільш тісний зв'язок з високим ступенем надійності встановлений між значеннями горизонтальних зміщень пунктів першої, другої і спільної груп та кутами нахилу поверхні водотривкого шару, водоносного горизонту і поверхні схилу. Надійність зв'язку цих зсувів з дирекційними кутами напрямку закладення водоносного обр'ю не встановлена ( $t_{табл.} = 2,04$ , отримані  $t_{крит.} = 0,76, t_{крит.} = 1,30$  і  $t_{крит.} = 1,41$ ). Надійно доведений зв'язок швидкості вертикальних зсувів і кута схилу поверхні водотривкого шару. Гіпотеза про зв'язок з іншими факторами надійно не доведена (табл. 2, 3).

Надійно доведений зв'язок швидкості вертикальних зсувів пунктів першої та другої групи й кутів нахилу поверхні водотривкого шару ( $r = 0,62, t_{крит.} = 2,91, r = 0,52, t_{крит.} = 3,06$  при  $p = 0,05, t_{табл.} = 2,36, 2,13$ ). Гіпотеза про зв'язок з іншими факторами надійно не доведена (табл. 3, 4).

Для лінійних показників факторів найбільш надійно встановлений зв'язок між горизонтальними зсувами пунктів першої й спільно обох груп і потужністю породи до водоносного обр'ю й водотривкого шару.

Найбільш тісний зв'язок існує між швидкістю горизонтальних зсувів пунктів усього масиву й рівнем ґрунтових вод. Надійно встановлений зв'язок вертикальних зсувів пунктів другої групи з відстанню до водоносного горизонту, а також рівнем ґрунтових вод для пунктів першої групи (табл. 4).

При встановленні кореляційної залежності середньої швидкості горизонтальних зсувів і лінійних показників факторів з'ясувалося, що найбільш тісний зв'язок існує між горизонтальними зсувами пунктів першої групи й спільно обох груп і потужністю порід до водоносного горизонту, ізопотужністю зсувного тіла, рівня підземних вод й індексу обводнювання. Таким чином, величини повних зсувів пунктів розташованих на зсувному масиві перебувають у тісному зв'язку з нахилом поверхні водотривкого шару, водоносного горизонту й рельєфу схилу незалежно від їхнього розташування.



Аналогічно кутовим показникам факторів середня швидкість осідань пунктів першої й другої групи перебуває в кореляційній залежності від рівня ґрунтових вод і потужності порід до водоносного обр'ю.

У табл. 5 представлені види рівнянь парної кореляції і їх параметрів, застосовані для прогнозування можливих очікуваних значень результативних ознак. З урахуванням отриманих рівнянь парної кореляції розраховані мінімально можливі величини факторів  $x_i$ , при яких забезпечується найменше значення результативної ознаки  $y$ . Так, наприклад, найменша величина вертикальних зсувів пунктів першої групи, розташованих на забудованій території ділянки схилу й пунктів на самому схилі спостерігається при значенні кутів ухилу водотривкого шару  $0,56-4,48^\circ$  відповідно й куті схилу водоносного горизонту не менше  $8,94^\circ$ . Залежність зсувів пунктів за період спостережень пов'язані з геологічною будовою схилу.

Таблиця 5

Рівняння регресії парної кореляції

Фактори, $x$	Рівняння регресії $y = a+bx$	$R^2$	$F_{факт.}$	$F_{крит}$	$t_a$	$t_b$	$x_{мин.}$
$y$ – середня швидкість горизонтальних зсувів. Перша група пунктів							
Кут нахилу поверхні водотривкого шару	$y = 1,5066+0,634x$	0,846	30,294	4,10	8,089	5,503	2,37
Кут нахилу схилу	$y = 1,150+0,357x$	0,658	15,374	4,10	2,904	3,919	3,22
Потужність породи до водоносного горизонту	$y = 6,337-0,266x$	0,400	5,336	4,10	3,679	2,310	23,82
Рівень підземної води	$y = 31,991-0,268x$	0,3614	4,528	4,10	2,211	2,043	119,47
Індекс обводнювання	$y = 10,576+4,040x$	0,6125	12,644	4,10	1,122	3,556	0,14
$y$ – середня швидкість вертикальних зсувів							
Кут нахилу водотривкого шару	$y = 0,193+0,317x$	0,3375	4,07	4,10	0,705	2,018	0,61 <sup>0</sup>
Рівень підземної води	$y = 18,431-0,154x$	0,2731	3,01	4,10	1,790	1,745	120,0
$y$ – середня швидкість горизонтальних зсувів. Друга група пунктів							
Рівень підземних вод	$y = 51,0796-0,415x$	0,3844	10,616	4,13	3,755	3,258	123,14
$y$ – середня швидкість вертикальних зсувів							
Потужність породи до водоносного горизонту	$y = -3,822+0,701x$	0,3520	9,235	4,13	2,0985	3,0390	5,45
Потужність водоносного горизонту	$y = -4,568+0,764x$	0,47209	12,476	4,319	2,870	3,782	5,982
Рівень підземної води	$y = -4,570+0,762x$	0,4711	15,144	4,13	2,956	3,891	5,997

Горизонтальні зсуви на забудованій зсувній ділянці можуть виникнути в тому випадку, якщо відстань до водоносного горизонту у верхній частині схилу буде не більше 32,73 м, а в середній і нижній частинах – 12,65.

Виконаний у такий спосіб прогноз буде мати похибки невизначеності за рахунок інших факторів, крім тих, що входять у рівняння регресії. Цю задачу вирішує багатомірний факторний аналіз. У результаті аналізу кореляційного зв'язку визначені основні фактори, що впливають на обводнення масиву та утворення горизонтальних зсувів на схилах балок.

Показники кореляційного зв'язку, обчислені за обмеженою сукупністю (за вибіркою) є лише оцінками тої або іншої статистичної закономірності. Тому необхідна статистична оцінка ступеня надійності параметрів кореляції. Імовірнісна оцінка параметрів кореляції отримується шляхом порівняння оцінюваної величини з випадковою середньою похибкою оцінки. Для коефіцієнта парної регресії  $b$  середня похибка оцінки обчислюється таким чином:

$$m_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-2)}{\sum_{i=2}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (6)$$

де  $\hat{y}_i$  – розрахункові значення результативної ознаки;  $n-2$  – число ступенів свободи [3].

Визначивши середню квадратичну помилку оцінки коефіцієнта регресії  $m_b$ , обчислюють імовірність того, що нульове значення коефіцієнта входить у інтервал можливих з урахуванням похибки значень.

Для цього знаходиться t-критерій Стюдента:  $t = \frac{b}{m_b}$  (табл. 5).

**Висновки**

1. Попередню оцінку кореляційного зв'язку впливу геометрії параметрів обводненого масиву рекомендовано визначати за допомогою статистичних поверхонь.

2. Оскільки відносно t-критерію між показниками (параметрами зміщень зсувного процесу) і факторами (нахил поверхонь ковзання – водотривкого шару, водоносного горизонту, рельєфу й потужністю порід до водоносного горизонту, потужності зсувного тіла і рівнем підземних вод) існує лінійна залежність, то рівняння  $\hat{y} = a + bx$  можна вважати з імовірністю  $p = 0,05$  адекватним моделі спостережуваних даних.

3. При збільшенні кута нахилу водотривкого шару на  $1^\circ$  у середньому швидкість горизонтальних зсувів пунктів першої групи збільшується на 0,66 мм/міс. або 7,92 мм/рік. При збільшенні кута нахилу рельєфу на  $1^\circ$  середня швидкість цих зсувів збільшується на 0,37 мм/міс., або 8,88 мм на рік спостережень.

4. За рівняннями парної регресії розраховується мінімально можлива величина фактора  $x$ , при якій забезпечується найменше значення показника  $b$ . Так, наприклад, при куті схилу водотривкого шару  $2,37^\circ$  і рельєфу  $3,22^\circ$  можливі горизонтальні зсуви у верхній частині схилу. Найменша потужність породи до водоносного горизонту, що викликає горизонтальні зсуви пунктів першої групи, становить 23,82 м (табл. 5).

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Берлянт А.М. Образ простору: карта й інформація. – М.: Думка, 1986. – 237 с.
2. Єлисеєва І.І. Загальна теорія статистики. – М.: Фінанси й статистика, 1999. – 475 с.
3. Толбатов Ю.А. Загальна теорія статистики засобами Excel. – Київ.: Четверта хвиля, 1999. – 222 с.

ЗУСКА Ада Василівна – асистент кафедри геодезії Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- маркшейдерія;
- геомеханіка.

Подано 26.01.2006

**Зуска А.В.** Вплив геометрії параметрів масиву на зсувні процеси в місті Дніпропетровську  
**Зуска А.В.** Влияние геометрии параметров массива на сдвижные процессы в городе Днепропетровске  
**Zuska A.V.** Influence of parameters geometry of massive on moving processes in city Dnepropetrovsk

УДК 622.83

**Влияние геометрии параметров массива на сдвижные процессы в городе Днепропетровске / А.В. Зуска**

**Разработана методика определения влияния геометрии параметров увлажненного массива на сдвижные процессы на основании математико-статистических приемов.**

УДК 622.83

**Influence of parameters geometry of massive on moving processes in city Dnepropetrovsk / A.V. Zuska**

**The method of determination of influence of parameters' geometry of the moistened massive on moving processes on the basis of mathematical-statistics' methods is developed.**