

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ДЕФОРМАЦІЮ ПОРІД ПРИ ПОВТОРНІЙ ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ РУДНИХ РОДОВИЩ

О. Куліковська^{1*}, В. Сидоренко¹

¹Кафедра геодезії, Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна

*Відповідальний автор: e-mail Kulikovskaja13@mail.ru, тел. +38056424096128

RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF TECHNICAL FACTORS ON ROCKS DEFORMATION DURING REWORKING OF ORE DEPOSITS

O. Kulikovska^{1*}, V. Sydorenko¹

¹Geodesy Department, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

*Corresponding author: e-mail Kulikovskaja13@mail.ru, tel. +38056424096128

ABSTRACT

Purpose. The aim of this work is to establish the relation of rocks deformation during reworking of ore deposits to mining and technical conditions and factors of mineral production based on the processing of surveying observations using modern software systems.

Methods. During the mining geodesy surveying research, probabilistic statistical methods were applied with the use of a powerful computer package statistics relating to modern mathematical methods for processing experimental data and modeling of geomechanical processes. The correct application and solution of the stated research task is confirmed by the receipt of many significant pair and multiple correlation coefficients between the parameters under study during the reworking of ore deposit.

Findings. On the basis of comprehensive analysis of surveying instrumental observations, we have determined and specified the regularities of the influence produced by technical factors on rocks deformation during reworking of ore deposits. 2-D and 3-D models developed in the research provided the possibility to obtain a visual representation of the deformation components distribution. The results of the performed regression analysis allowed to find the equations of approximations and to conclude that the studied parameters are correlated.

Originality. The research allowed to establish and clarify the displacement patterns of rocks in the disturbed zone of mining at PJSC “ArcelorMittal Kryvyi Rih” caused by such factors as an active area of the roof outcrop, the time period from the beginning of the block development to the run-time of observation, the distance between the working unit and the observed frame, the vertical distance between the levels of primary and secondary underground developments on the basis of the integrated use of possibilities provided by the modern standard package Statistica.

Practical implications. The obtained data allow to specify the parameters of the adopted models describing rocks deformation during reworking of ore deposits, to predict their development over time and assess the risk of negative geodynamic phenomena.

Keywords: deformation of rocks, mining and technical factors, ore deposit, the impact of mining, approximation, simulation

1. ВСТУП

Впродовж усієї історії розвитку гірничої справи питання про зсуви гірських порід є актуальними та звертають на себе увагу багатьох дослідників (Dobroskok, Linkov, & Zoubkov, 2010; Semibalamut, Rybushkin, Yushkin, Fedorinin, & Sidorov, 2011; Khan, 2012; Nikiforov, 2012; Eremenko, Gahova, Esina, & Zinchenko, 2014; Nazarov, Nazarova, & Han, 2014). Такий інтерес до даної проблеми обумовлений тим, що в

зону шкідливого впливу гірничих розробок нерідко потрапляють як будівлі гірничих підприємств, так і навколишні промислові, житлові та соціальні будівлі та споруди, транспортні комунікації, лінії електропередачі і природні об'єкти, порушення цілісності яких може не тільки викликати виникнення аварійних ситуацій на них, але й призвести до значних людських жертв (Gendler, 2014; Koponov, 2016).

Процес зсуву нерідко створює небезпеку для виконання самих гірничих робіт. Прогнозування розвитку

будь-яких природних, техноприродних явищ загалом, і надзвичайних ситуацій, зокрема, базується на групі чинників і ознак, які спричиняють і визначають ці явища. Всі чинники, які лежать в основі проявлення неотектоніки можна розділити на дві групи – природні і техногенні. Рішення проблем постановки маркшейдерських вимірювань при моніторингу розвитку небезпечних деформаційних процесів на урбанізованій території є традиційною сферою досліджень і технологічних розробок в області спеціальних моніторингових робіт. Всі об'єкти таких досліджень можна схарактеризувати, як динамічні, з пульсуючим характером розвитку у часі. Загалом у всіх випадках сумарні кінематичні характеристики можна розглядати, як наслідок спільного впливу великої кількості взаємозалежних фізичних процесів на фоні зміни механічних властивостей середовища. Тобто, об'єктом досліджень завжди є природно-техногенна система “інженерна споруда – середовище”.

Останнім часом із розвитком математичних методів на базі персональних комп'ютерів у багатьох науках відбувається процес перегляду основних положень з ймовірно-статистичних позицій (Shpakov & Popov, 2003; Petrovichev, Lushnikov, & Katkov, 2005; Kvesko & Chubik, 2010). Тому їх використання при вивченні впливу гірничотехнічних факторів на деформацію порід дозволять суттєво уточнити і розкрити об'єктивно існуючі в природі та у виробництві статистичні закономірності процесів і явищ, взаємозв'язки між ознаками, які їх характеризують.

2. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На основі зібраного статистичного матеріалу встановлено закономірності зрушення гірських порід порушеної зони гірничого відводу ШУ ПАТ “Арселор-Міттал Кривий Ріг” від різних факторів за допомогою стандартного пакету Statistica (Vorovikov, 2008).

У Таблиці 1 та на Рисунку 1 представлені результати спостережень зсуву порід порушеної зони від таких факторів, як: активна площа відслонення покрівлі, період часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження, відстань між робочим блоком і спостережуваним репером та вертикальна відстань між горизонтами первинної та повторної підземної розробок.

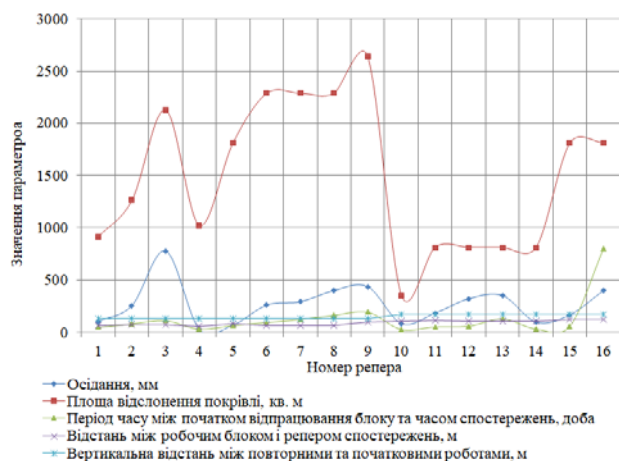


Рисунок 1. Величини осідань реперів та досліджувані фактори в межах порушеної зони

Таблиця 1. Результати спостережень за осіданнями порід порушеної зони ШУ ПАТ “Арселор-Міттал Кривий Ріг”

№ репера	Осідання, мм	Площа відслонення покрівлі, м²	Період часу між початком відпрацювання блоку та часом спостережень, доба	Відстань між робочим блоком і репером спостережень, м	Вертикальна відстань між повторними та початковими роботами, м
1	99	910	45	62	128
2	253	1260	80	71	128
3	776	2130	110	76	128
4	25	1020	28	60	130
5	66	1810	64	79	130
6	257	2290	92	68	130
7	289	2290	123	68	130
8	397	2290	160	68	130
9	434	2640	192	94	130
10	80	350	25	108	174
11	180	810	51	111	174
12	318	810	58	104	172
13	349	810	127	106	172
14	93	810	30	102	172
15	164	1810	58	120	172
16	398	1810	802	120	172

З метою попереднього аналізу візуально оцінимо наявні дані, побудувавши декілька діаграм розсіяння, щоб визначити, як відповідні фактори впливають на зв'язки між іншими змінними факторами в тому ж наборі даних (Рис. 2). На Рисунку 2 точки даних зображуються колами в двовимірному просторі, де вісі відповідають змінним.

Результати регресійного аналізу, які представлені нижче у Таблиці 2, дозволили зробити висновок про наявність кореляційної залежності між досліджуваними параметрами і знайти рівняння апроксимації:

$$\eta_n = 57.818 + 0.124S_a + 0.174t + 1.850l - 1.129h \quad (1)$$

Таблиця 2. Результати обчислення парної кореляції між факторами впливу на деформацію порід порушеної зони

Фактор впливу	Осідання, мм	Площа відслонення покрівлі, м²	Період часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження, доба	Відстань між робочим блоком і репером спостережень, м	Вертикальна відстань між повторними та початковими роботами, м
	η_n	S_a	t	l	h
η_n	1.00	0.53	0.36	0.01	-0.18
S_a	0.53	1.00	0.31	-0.30	-0.58
t	0.36	0.36	1.00	0.33	0.17
l	0.01	0.01	0.33	1.00	0.91
h	-0.18	-0.18	0.17	0.91	1.00

Досліджувані чинники: активна площа відслонення покрівлі S_a , період часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження t , відстань між робочим блоком і спостережуваним репером l , вертикальна відстань між горизонтами первинної і повторної підземної розробки h .

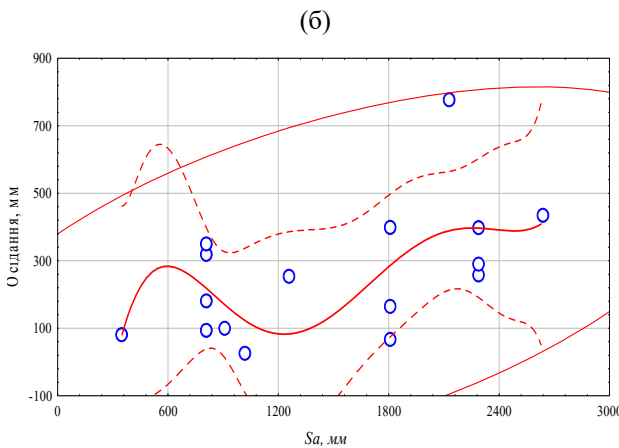
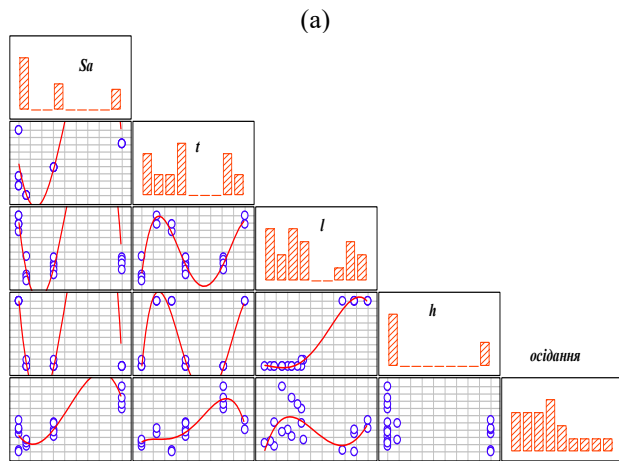


Рисунок 2. Діаграми розсіювання (а) та характер впливу (б) досліджуваних факторів на зв'язки між іншими змінними факторами в тому ж наборі даних

Під активною площею відслонення мається на увазі площа, обмежена колом, проведеним через точки дотику двох (при паралельному) або трьох і більше (в інших випадках розташування) ціликів, на які спираються поверхневі породи, що створюють напружений стан порід в межах цього кола (Bukrinskij, 2012).

Множинний коефіцієнт кореляції становить $R = 0.58$; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.34$; критерій Фішера $F(4.11) = 1.3962$; $p < 0.29813$.

Обчислення коефіцієнтів парної кореляції (Табл. 2) свідчать про те, що достатньо тісний зв'язок існує між осіданням η_n та площею відслонення покрівлі S_a (коефіцієнт -0.53); між осіданням η_n та періодом часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження t (коефіцієнт -0.36). Результат підбору функції апроксимації між осіданням та площею відслонення покрівлі представлено на Рисунку 3.

Наслідки дослідження множинної кореляції дозволили встановити залежності осідань від вертикальної відстані між повторними та початковими роботами h і періодом часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження t , а також розробити 3-D моделі досліджуваного процесу, які представлені на Рисунку 4.

На Рисунку 5 відображено результати встановлення залежностей між осіданнями та вертикальною відстанню між повторними та початковими роботами h і відстанню між робочим блоком і репером спостережень l із відображенням їх на створених 3-D моделях.

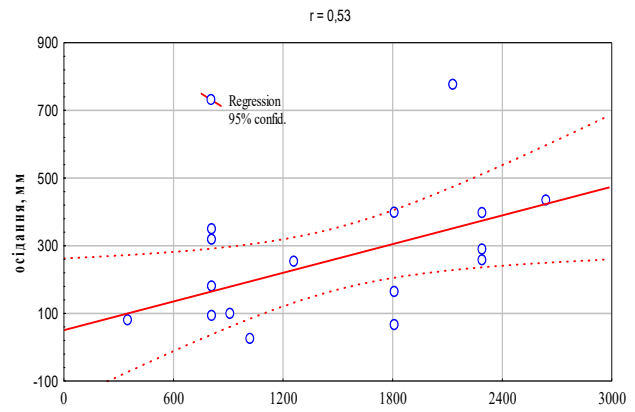
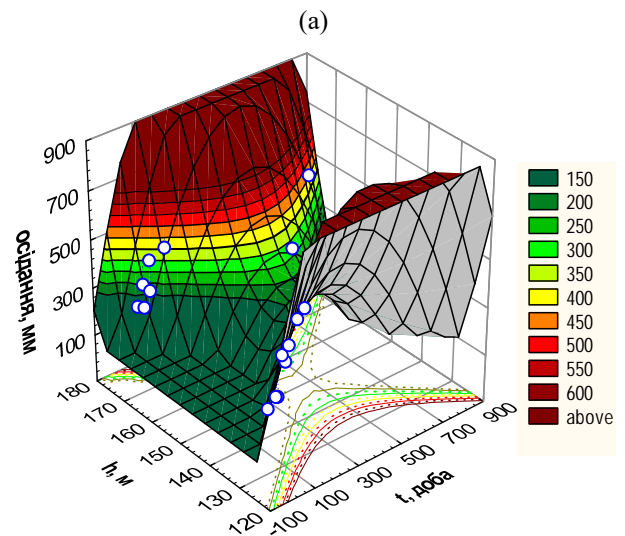
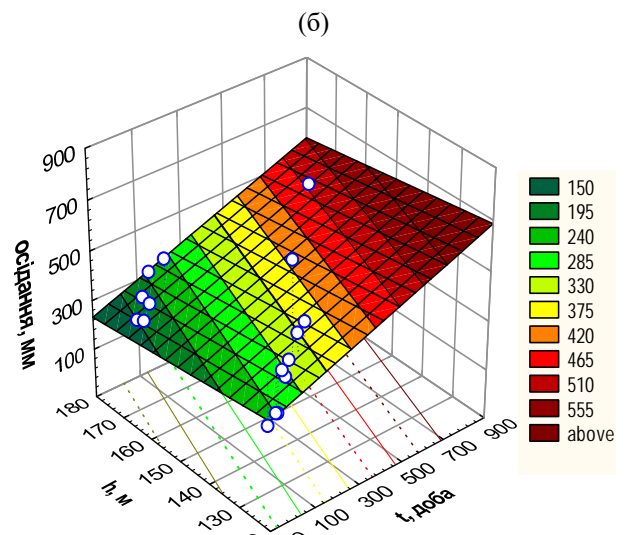


Рисунок 3. 2-D модель апроксимації осідання в залежності від площі відслонення (оголення) покрівлі



$$\eta = 35214 + 3.663 t - 477.68 h - 0.005 t^2 + 0.004 th + 1.584 h^2$$



$$\eta = 529.306 + 0.414t - 2.166h$$

Рисунок 4. 3-D моделі множинної кореляції між осіданнями порід порушеної зони та між досліджуваними параметрами h , t із застосуванням поліноміальної (а) і лінійної (б) функцій згладжування поверхні

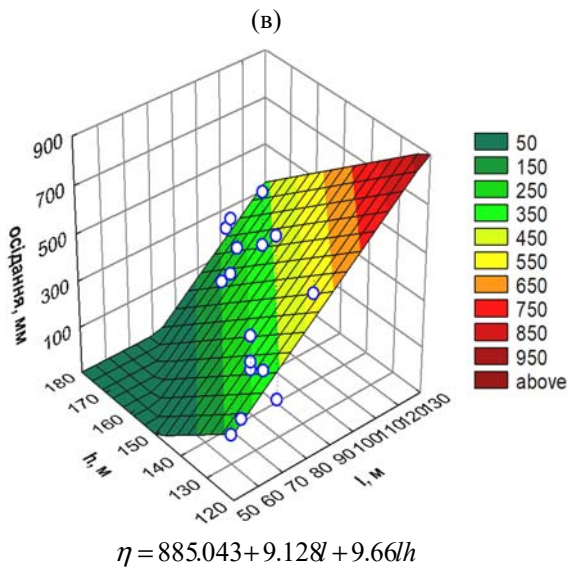
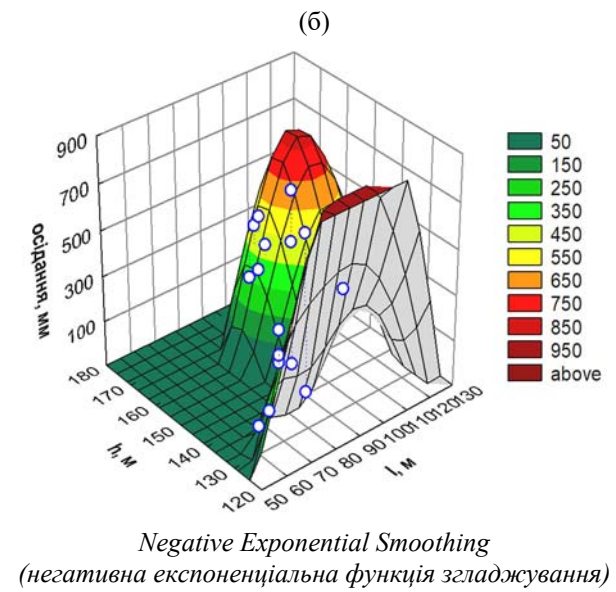
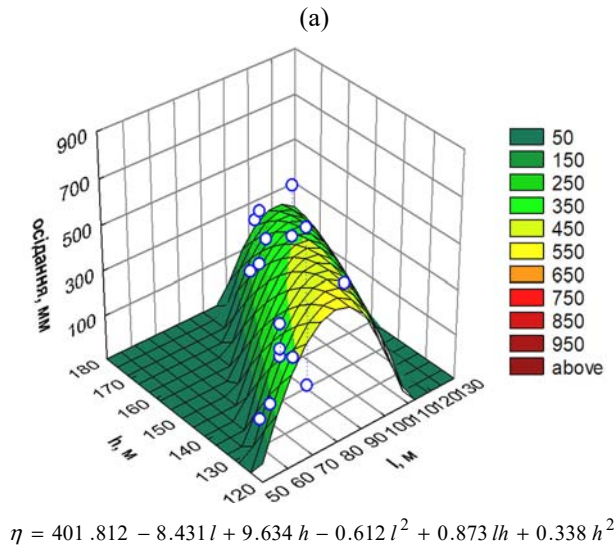


Рисунок 5. 3-D моделі множинної кореляції між осіданнями і досліджуваними параметрами l, t із підбором поліноміальної (а), негативної експоненціальної (б) та лінійної (в) функцій згладжування поверхні

На Рисунок 6 відтворено результати встановлення залежностей між осіданнями та періодом часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження t і площею оголення покрівлі S_a із відображенням їх на розроблених 3-D моделях.

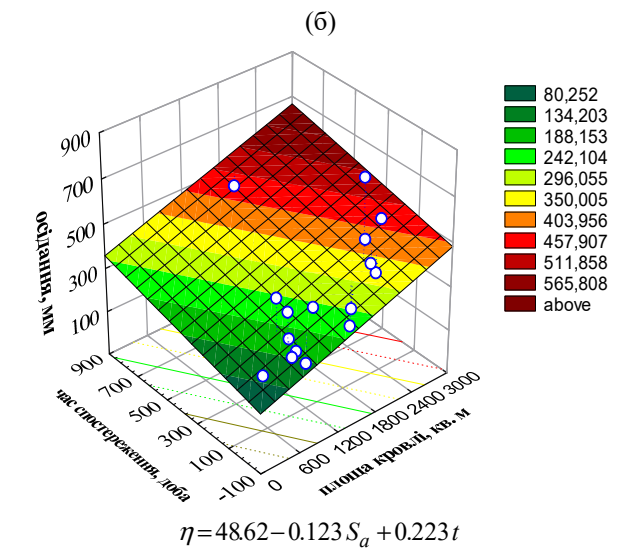
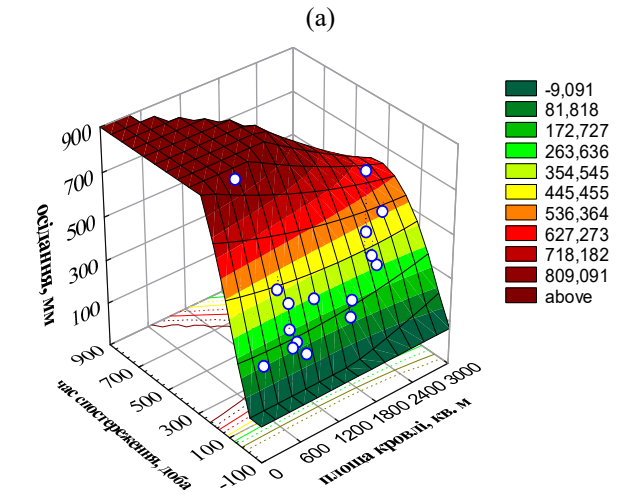


Рисунок 6. 3-D моделі множинної кореляції між осіданнями та досліджуваними параметрами S_a, t із підбором поліноміальної (а), лінійної (б) функцій згладжування поверхні

В Таблиці 3 представлено результати спостереження за деформацією покрівлі повторних виробок порушеної зони.

Виконаний аналогічний регресійний аналіз дозволив встановити залежність деформації від вищезгаданих чинників, яка описується рівнянням:

$$\eta_{\kappa} = -283.880 - 0.397S_a + 2.783t + 2.520l - 1.099h . (2)$$

Множинний коефіцієнт кореляції становить $R = 0.91$; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.82$; визначена статистика $F(4.14) = 16.225$ відповідає рівню значущості $p = 0.00004$. Оскільки значення p досить мале, то нульова гіпотеза відхиляється. Це означає, що кореляція є встановленою.

Таблиця 3. Результати спостережень за осіданнями покрівлі повторних виробок ШУ ПАТ “Арселор-Міттал Кривий Ріг”

№ репера	Осідання, мм	Площа відслонення покрівлі, м ²	Період часу між початком відпрацювання блоку та часом спостережень, доба	Відстань між робочим блоком і репером спостережень, м	Вертикальна відстань між повторними та початковими роботами, м
1	189	910	45	66	131
2	342	1260	80	75	131
3	773	2130	110	80	131
4	265	910	45	64	131
5	446	1260	80	73	131
6	843	2130	110	78	131
7	239	910	45	61	131
8	412	1260	80	70	131
9	944	2130	110	75	131
10	562	1260	80	66	131
11	1122	2130	110	70	131
12	288	910	45	81	135
13	548	1260	80	80	135
14	385	810	57	107	173
15	448	810	127	107	173
16	468	810	57	114	173

Обчислення коефіцієнтів парної кореляції (Табл. 4) свідчать про те, що найбільш тісний зв'язок існує між осіданням η_k та площею відслонення покрівлі S_a (коефіцієнт – 0.86), між осіданням η_k та періодом часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження t (коефіцієнт – 0.71).

Таблиця 4. Результати обчислення парної кореляції між факторами впливу на деформацію повторних виробок

Фактор впливу	Осідання, мм	Площа відслонення покрівлі, м ²	Період часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження, доба	Відстань між робочим блоком і репером спостережень, м	Вертикальна відстань між повторними та початковими роботами, м
	η_n	S_a	t	l	h
η_n	1.00	0.86	0.71	-0.16	-0.32
S_a	0.86	1.00	0.55	-0.43	-0.58
t	0.71	0.55	1.00	0.23	0.09
l	-0.16	-0.43	0.23	1.00	0.95
h	-0.32	-0.58	0.09	0.95	1.00

Співвідношення стандартних відхилень складає 1.839. Воно менше табличного значення критерію Фішера $F(0.05;14;17) = 2.33$: отже, стандартні відхилення відрізняються не значимо, тому вибірки можна об'єднати.

В Таблиці 5 і на Рисунок 7 наведено залежність деформації порід порушеної області від відстані по ортах (за початок відліку взято лінію, що розташована у підстиляючих породах і віддалена від контакту рудного тіла з лежачим боком), яка апроксимується рівняннями лінійної (3) та експоненціальної (4) функцій:

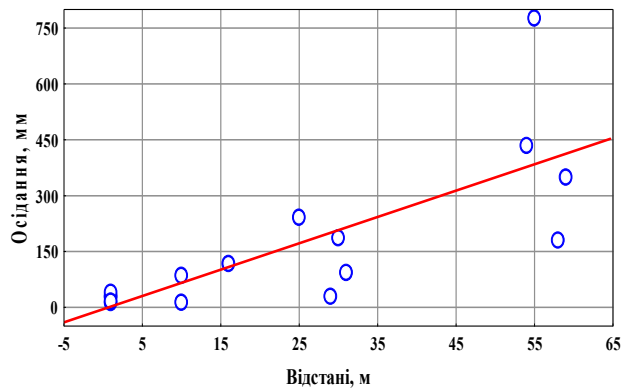
$$\eta_n = -4.583 + 7.072l ; \tag{3}$$

$$\eta_n = 24.129 e^{0.049l} . \tag{4}$$

Таблиця 5. Результати спостережень за осіданнями масиву порід і покрівлі від відстаней

№ репера	Осідання масиву порід (по ґрунтових реперах) η_n , мм	Відстані l , м	№ репера	Сумарні осідання масиву порід і покрівлі η_k , мм	Відстані l , м
1	12	1	1	90	1
2	27	1	2	84	1
3	30	1	3	62	1
4	40	1	4	76	5
5	13	10	5	117	10
6	85	10	6	139	14
7	241	25	7	149	22
8	29	29	8	97	22
9	93	31	9	238	24
10	186	30	10	156	29
11	349	59	11	773	46
12	180	58	12	596	50
13	434	54	13	773	51
14	776	55	14	843	54
15	16	1	15	944	57
16	117	16	16	448	59
17	221	36	17	548	59
			18	1122	62

(а)



(б)

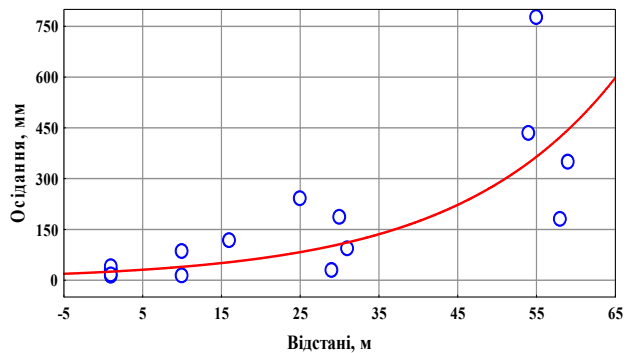


Рисунок 7. Залежність деформації порід порушеної області від відстані по ортах із апроксимацією лінійною (а) та експоненціальною (б) функціями

Кореляційне співвідношення між даними чинниками складає $R = 0.78$; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.61$; визначена статистика $F(1.16) = 25.269$ відповідає рівню значущості $p = 0.00012$. Оскільки значення p досить мале, то нульова гіпотеза відхиляється. Це означає, що кореляція є встановленою.

Результати кореляційного аналізу показують, що між сумарними осіданнями масиву порід і покрівлі (Табл. 5) існує тісний зв'язок, для якого $R = 0.86$; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.77$; визначена статистика $F(1.16) = 56.522$ відповідає рівню значущості $p = 0.000001$. Оскільки значення p досить мале, то нульова гіпотеза відхиляється. Це означає, що кореляція є встановленою і апроксимується рівняннями (Рис. 8) лінійної функції (5) та експоненціальної функції (6):

$$\eta_n = -26.70 + 13.643l ; \quad (5)$$

$$\eta_n = 68.472 e^{0.042l} . \quad (6)$$

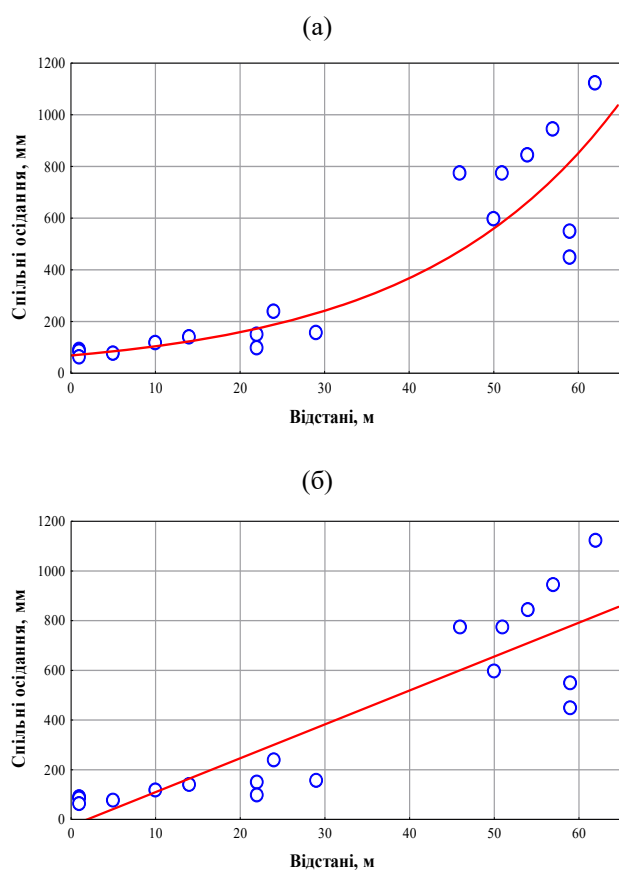


Рисунок 8. Залежність сумарних осідань масиву порід порушеної області та покрівлі від відстані по ортах із апроксимацією експоненціальною (а) і лінійною (б) функціями

3. ВИСНОВКИ І НАПРЯМОК ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На основі всебічного аналізу маркшейдерських інструментальних спостережень із застосуванням ймовірно-статистичних досліджень встановлено та уточнено закономірності впливу гірничотехнічних факто-

рів на деформацію порід при повторній підземній розробці рудних родовищ. Створені 2-D і 3-D моделі актуалізували можливість отримати візуальне уявлення впливу на розповсюдження складових деформацій. Результати виконаного регресійного аналізу дозволили зробити висновок про наявність кореляційних залежностей між досліджуваними параметрами і знайти рівняння апроксимацій.

Обчислення коефіцієнтів парної кореляції свідчать про те, що найбільш тісний зв'язок існує між осіданням порід η_n та площею відслонення покрівлі S_n . Опрацюванням результатів спостережень за осіданнями покрівлі повторних виробок доведено, що при визначенні множинних кореляцій найбільш тісний зв'язок існує між осіданням порід і активною площиною оголення покрівлі, а також проміжком часу від початку гірничих робіт у блоці до початку спостережень.

Отримані рівняння апроксимації дозволяють визначати деформації порід і виробок в різних точках, порушеної гірничими роботами, ділянок земної поверхні. Вищезазначене допоможе фахівцям визначати й оцінювати ризики, пов'язані з розвитком процесів деформацій, що можуть призвести до повної (часткової) втрати об'єкта або до створення перешкод для нормальної експлуатації споруд, які знаходяться в зоні впливу гірничодобувних робіт.

ВДЯЧНІСТЬ

Проведення даного дослідження було б неможливим без підтримки, здійсненої в рамках науково-дослідної тематики № 79026051 “Дослідження зрушень лежачого боку і примикаючих до нього обвалень порід у промислових умовах”, виконаної у Криворізькому національному університеті. Автори висловлюють особливу вдячність начальнику відділу маркшейдерсько-геодезичних досліджень дочірнього підприємства “Укррудпром” Асоціації “Укррудпром” доценту, кандидату технічних наук О.І. Чирві, співробітникам маркшейдерського відділу шахтоуправління ПАТ “Арселорміттал Кривий Ріг” за активне сприяння проведенню даного дослідження і сподіваються на подальшу співпрацю між названими колективами та кафедрою геодезії Криворізького національного університету.

REFERENCES

- Borovikov, V. (2008). *Nejronnye seti. Statistika Neural Networks. Metodologiya i tekhnologii sovremennogo analiza dannyh*. Moskva: Goryachaya liniya.
- Bukrinskij, V. (2012). *Geometriya nedr*. Moskva: Gornaya kniga.
- Dobroskok, A., Linkov, A., & Zoubkov, V. (2010). On Joint Geomechanical and Geophysical Monitoring in Mines. *Journal of Mining Science*, 1(46), 13-20. <https://doi.org/10.1007/s10913-010-0002-0>
- Eremenko, V., Gahova, L., Esina, E., & Zinchenko, D. (2014). Osobennosti geomekhanicheskogo obespecheniya osvoeniya glubokozalegayushchih zhelezorudnyh mestorozhdenij. *Gornyj Zhurnal*, (5), 74-78.
- Gendler, S. (2014). Obespechenie kompleksnoj bezopasnosti i pri osvoenii mineral'no-syr'evykh i prostranstvennykh resursov nedr. *Gornyj Zhurnal*, (5), 5-6.
- Khan, G. (2012). Discrete Element Modeling of Rock Failure Dynamics. *Journal of Mining Science*, 1(48), 96-102. <https://doi.org/10.1134/s1062739148010108>

- Konovalov, V. (2016). Ispol'zovanie zemel'nyh resursov na sushchestvuyushchih gornopromyshlennyh kompleksah. *Problemy Nedropol'zovaniya*, 3(10), 97-104.
- Kvesko, N., & Chubik, P. (2010). *Metody i sredstva issledovaniy*. Tomsk: Tomskiy Politehnicheskij Universitet.
- Nikiforov, S. (2012). The Specifics of Surveying Ground Surface Displacement in the Undermined Territories. *Mine Surveying and Subsurface Use*, 5(61), 38-41.
- Nazarov, L., Nazarova, L., & Han, G. (2014). Ocenka glubiny i razmerov podzemnoj polosti v gruntovom massive po konfiguracii mul'dy sdvizheniya na osnove resheniya obratnoj zadachi. *Fiziko-Tekhnicheskie Problemy Razrabotki Poleznyh Iskopaemyh*, (3), 3-9.
- Petrovichev, E., Lushnikov, I., & Katkov, A. (2005). Ispol'zovanie 3D grafiki dlya modelirovaniya processov v gornoj promyshlennosti. *Gornyy Informacionno-Analiticheskij Byulleten*, (6), 196-198.
- Semibalamut, V., Rybushkin, A., Yushkin, V., Fedorinin, V., & Sidorov, V. (2011). Monitoring System for Lateral Strains and Seismic Processes in Bore-Holes and Underground Mine Workings. *Journal of Mining Science*, 1(47), 127-134. <https://doi.org/10.1134/s1062739147010151>
- Shpakov, P., & Popov, V. (2003). *Statisticheskaya obrabotka ehksperimental'nyh dannyh*. Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj gornyy universitet.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Встановлення взаємозв'язку між деформацією порід при повторній підземній розробці рудних родовищ та гірничотехнічними факторами видобутку корисних копалин на основі опрацювання маркшейдерських спостережень із застосуванням сучасних програмних комплексів.

Методика. Під час проведення досліджень використано ймовірісно-статистичні методи з застосуванням потужного комп'ютерного пакету Statistica, які відносяться до сучасних математичних методів обробки експериментальних даних і моделювання геомеханічних процесів. Коректність їх застосування і рішення поставленої задачі дослідження підтверджується отриманням багатьох значущих парних і множинних коефіцієнтів кореляції між досліджуваними параметрами при підземній повторній розробці рудного родовища.

Результати. На основі всебічного аналізу маркшейдерських інструментальних спостережень встановлено та уточнено закономірності впливу гірничотехнічних факторів на деформацію порід при повторній підземній розробці рудних родовищ. Створені 2-D і 3-D моделі актуалізували можливість отримати візуальне уявлення про розповсюдження складових деформацій. Результати виконаного регресійного аналізу дозволили зробити висновок про наявність кореляційних залежностей між досліджуваними параметрами і знайти рівняння апроксимацій.

Наукова новизна. Встановлені та уточнені закономірності зрушення гірських порід порушеної зони гірничого відводу ШУ ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" від таких факторів, як активна площа відслонення покрівлі, період часу від початку відпрацювання блоку до часу виконання спостереження, відстань між робочим блоком і спостережуваним репером, вертикальна відстань між горизонтами первинної та повторної підземної розробок на підставі комплексного використання можливостей сучасного стандартного пакету Statistica.

Практична значимість. Отримані дані дозволяють уточнити параметри прийнятих моделей деформацій порід при повторній підземній розробці рудних родовищ, спрогнозувати їх розвиток із плином часу та оцінити ступінь ризику виникнення негативних геодинамічних явищ.

Ключові слова: деформація порід, гірничотехнічні фактори, рудне родовище, вплив гірничих робіт, апроксимація, моделювання

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Установление взаимосвязи между деформацией пород при повторной подземной разработке рудных месторождений и горнотехническими факторами добычи полезных ископаемых на основе обработки маркшейдерских наблюдений с применением современных программных комплексов.

Методика. Во время проведения исследований использованы вероятностно-статистические методы с применением мощного компьютерного пакета Statistica, которые относятся к современным математическим методам обработки экспериментальных данных и моделирования геомеханических процессов. Корректность их применения и решения поставленной задачи исследования подтверждается получением многих значимых парных и множественных коэффициентов корреляции между исследуемыми параметрами при повторной подземной разработке рудного месторождения.

Результаты. На основе всестороннего анализа маркшейдерских инструментальных наблюдений установлены и уточнены закономерности влияния горнотехнических факторов на деформацию пород при повторной подземной разработке рудных месторождений. Созданные 2-D и 3-D модели актуализировали возможность получить визуальное представление о распространении составляющих деформаций. Результаты выполненного регрессионного анализа позволили сделать вывод о наличии корреляционных зависимостей между исследуемыми параметрами и найти уравнения аппроксимаций.

Научная новизна. Установлены и уточнены закономерности сдвижения горных пород нарушенной зоны горного отвода ШУ ПАО "АрселорМиттал Кривой Рог" от таких факторов, как активная площадь отслоения кровли, период времени от начала отработки блока до времени выполнения наблюдения, расстояние между рабочим блоком и наблюдаемым репером, вертикальное расстояние между горизонтами первичной и повторной подземной разработок на основании комплексного использования возможностей современного стандартного пакета Statistica.

Практическая значимость. Полученные данные позволяют уточнить параметры принятых моделей деформаций пород при повторной подземной разработке рудных месторождений, спрогнозировать их развитие с течением времени и оценить степень риска возникновения негативных геодинамических явлений.

Ключевые слова: деформация пород, горнотехнические факторы, рудное месторождение, влияние горных работ, аппроксимация, моделирование

ARTICLE INFO

Received: 20 June 2017

Accepted: 17 September 2017

Available online: 30 September 2017

ABOUT AUTHORS

Olha Kulikovska, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Geodesy Department, Kryvyi Rih National University, 11 Matusevycha St, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine. E-mail: Kulikovskaja13@mail.ru

Viktor Sydorenko, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Geodesy Department, Kryvyi Rih National University, 11 Matusevycha St, 50027, Kryvyi Rih, Ukraine. E-mail: Vdsidor@rambler.ru