

## НОВІ НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ / NEW RESEARCH AREAS

---

УДК 504.3.054:504.062.2

Н.О. Д'яченко, О.В. Власенко, А. В. Ковальчук

### ОЦІНКА ФАКТОРІВ ВПЛИВУ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ НА ДОВКІЛЛЯ ШЛЯХОМ КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Проведено дослідження з оцінки факторів впливу видобутку вугілля на довкілля шляхом кореляційно-регресійного аналізу. В дослідженні проаналізовані зв'язки між показниками темпів розвитку шахти (обсягом видобутку вугілля) та мірою впливу видобутку вугілля на забруднення навколишнього середовища. Для цього вперше використані коефіцієнти кореляції, що розраховані методом кореляційно-регресійного аналізу багатовимірних даних, в системі «обсягу видобутку - показник забруднення» та створено ранжування показників інтенсивності впливу на прикладі шахти «Бужанська». Для розрахунків використано ПЗ Excel, його вбудовані інструменти надбудову «аналіз».

В результаті проведених досліджень розрахована множинна кореляційна матриця, розроблено ранжування показників забруднення за значенням коефіцієнтів кореляції, зроблено верифікацію моделей, розроблено математичні формули розрахунку взаємопов'язаних показників. Отримані в наших розрахунках моделі мають середню помилку апроксимації від 16 до 22% (при рівні значущості 0,5, надійності 0,99).

Отримані розрахунки свідчать, що найбільш впливовий показник забруднення (має значний кореляційний зв'язок з обсягом видобутку) стосується атмосфери – «Викиди пилу вуглепородного» ( $R=0,9897$ ). Викиди ЗР в атмосферу теж мають великий коефіцієнт зв'язку ( $R=0,9681$ ). Викиди парникових газів менш залежать від видобутку ( $R=0,8685$ ), бо пласти вугілля викидодобезпечні. Найбільш вагомий вплив на землю надає «видобуток породи» ( $R=0,9314$ ). Що стосується впливу вугільної промисловості на водний басейн, то з отриманих даних, маємо, що показники забруднення та споживання води мають недостатній зв'язок з показниками видобутку: «Об'єм шахтної води, що скинута у поверхневі водні об'єкти» ( $R=0,7751$ ) та «Скинута в поверхневі водні об'єкти ЗР» ( $R=0,7833$ ). Збільшення видобутку практично не корелює з обсягом забору свіжої води ( $R=0,5753$ ). Така ж саме ситуація є з об'ємом господарсько-побутових стоків ( $R=0,5524$ ). Запропоновано шляхи екологізації впливу.

**Ключові слова:** гірничі роботи, забруднення, коефіцієнт кореляції, матриця, регресія.

## **Вступ.**

Видобувна промисловість вугільних басейнів негативно впливає на навколишнє середовище (НС). За рахунок діяльності шахт відбувається забруднення ґрунту, водного та повітряного басейнів районів видобування, а також відчуження сільськогосподарських угідь. Тому питання захисту навколишнього повітряного середовища, утилізації і складування відходів розробки вугілля, а також очищення або демінералізація скинутої шахтної води і збереження водозаборів постійно знаходиться в центрі уваги відповідних органів, постійно розробляються та виконуються заходи щодо зменшення негативного впливу промислової діяльності шахти на навколишнє середовище.

Перераховане вище екологічне навантаження від діяльності підземної розробки корисних копалин має місце бути, але інтенсивність впливу кожної складової різна. Останні відрізняються в залежності від багатьох факторів: як від технології виробничого процесу, так і від фізико-географічних характеристик району видобування.

За нашою думкою, виявлення впливу вугільного виробництва на НС потрібне проводити за двома напрямками: визначення показників, що характеризують темпи розвитку галузі, та формування екологічної шкоди. Показники, які відображають негативний вплив, розрізняються за напрямками: вилучення земель, їх забруднення відходами; зміна гідрологічного режиму, виснаження водних ресурсів; забруднення повітряного басейну.

Саме тому, проведені дослідження – спроба зробити сучасну концепцію досліджень: діагностика і опис зв'язків між показниками розвитку і показниками забруднення НС.

*Ідея роботи* полягає у дослідженні зв'язків між показниками розвитку підприємства гірничої промисловості і показниками забруднення НС шляхом кореляційно-регресійного аналізу.

*Об'єкт дослідження* – екологічний стан НС вугільної шахти «Бужанська» Нововолинського гірничопромислового району.

*Предмет дослідження* – зв'язки між показниками розвитку підприємства гірничої промисловості (шахта) та показниками забруднення НС та інтенсивність впливу кожної складової забруднення на довкілля.

## **Методи дослідження.**

У процесі досліджень використовувалися такі методи: математично-статистичні, описові, графічні, системного аналізу (економетрика) - кореляційно-регресійний аналіз багатовимірних даних. Обробка результатів експериментів проводилась із використанням математичного програмування в пакеті MS Excel.

## **Визначення проблем та виклад результатів дослідження.**

Виявлення впливу вугільного виробництва на НС потрібно проводити за двома напрямками: визначення показників, що характеризують темпи розвитку галузі та формування екологічної шкоди. Показники, які відображають негативний вплив розрізняються за напрямками: вилучення земель, їх забруднення відходами; зміна гідрологічного режиму, виснаження водних ресурсів; забруднення повітряного басейну і т. і. В якості показника роботи шахти ми оперуємо обсягом видобутку вугілля. Мірою впливу видобутку вугілля на забруднення НС служитимуть коефіцієнти кореляції в системі обсягу видобутку - показник забруднення.

Як приклад, для дослідження обрано Волинський вугільно-промисловий район, шахта «Бужанська». Хронологія дослідження - 2017–2021 роки. При визначенні показників, що впливають на НС, приймалася аксіома, що вугільна промисловість впливає на довкілля за напрямками: -літосфера (Л) - вилучення земель та забруднення їх відходами (породні відвали або вилучення земель); - гідросфера (Г) - виснаження водних ресурсів або забруднення водних об'єктів (скид шахтних вод, скид забруднюючих речовин (ЗР) у водні об'єкти та стічні води; - атмосфера (А) - забруднення повітряного басейну (загальний викид в повітряний басейн ЗР, викиди парникових газів. Тобто, ми окремо враховуємо динамічні показники забруднення літосфери, атмосфери та гідросфери (табл. 1) за 5 років та розраховуємо коефіцієнт кореляції (R). Графічне зображення впливу видобутку вугілля на забруднення НС за показниками R додано на рис. 1.

Таблиця 1.

**Результати розрахунку коефіцієнтів кореляції (R) в системі «обсяг видобутку – показник забруднення»**

НВ	Показник / рік	од. вим.	2017	2018	2019	2020	2021	R
1.Л	Видобуток вугілля	тис. т/рік	48,89	46,22	39,55	18,77	11,347	
2.Л	Видобуток породи	тис. т	39,30	39,59	28,52	25,52	20,45	0,9314
3.А	Викиди ЗР	т/рік	18,97	18,40	17,30	16,25	14,50	0,9681
4.А	Викиди пилу вуглепородного	т	7,54	7,89	6,42	4,37	3,425	0,9897
5.А	Обсяг викидів парникових газів	тис т/рік	15,22	15,48	14,90	13,20	7,27	0,8685
6.Г	Об'єм шахтної води, що скинута у поверхневі водні об'єкти	тис. куб. м	1457	1449	1458	1448	1393	0,7674
7Г	Скинута в поверхневі водні об'єкти ЗР	т	14,21	14,31	14,41	14,11	13,9	0,8126
8.Г	Об'єм використання води (крім шахтної), всього	тис. куб. м	17,50	18,10	17,90	17,91	16,75	0,5758
9.Г	Об'єм господарсько-побутових стоків	тис. куб. м	15,35	15,88	15,22	15,57	14,79	0,5524

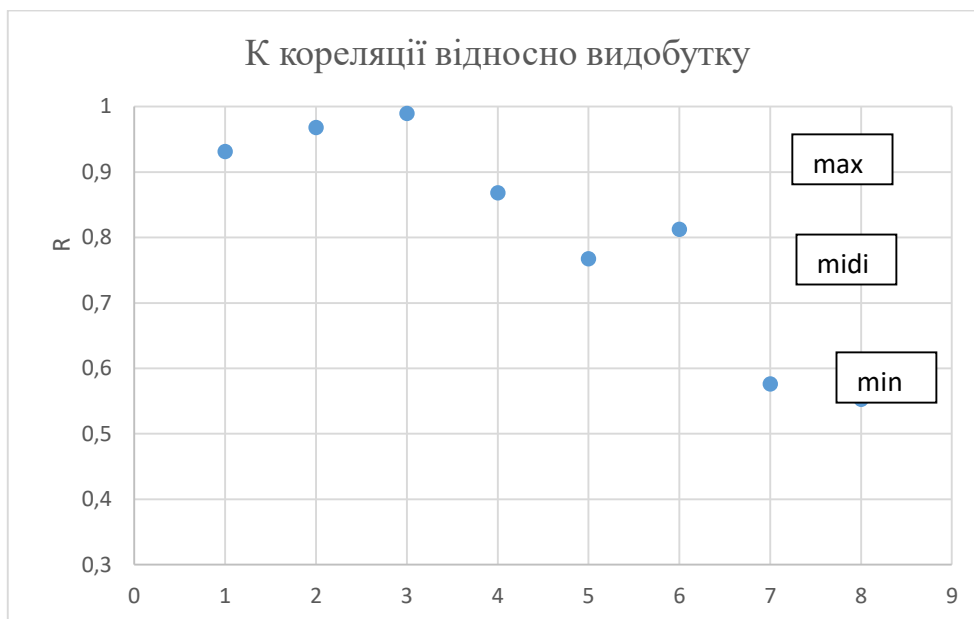


Рис. 1. Графічне зображення впливу видобутку вугілля на забруднення НС за показниками R

Було б доцільним до ПЗ включити «обсяги метану», але шахта «Бужанська» по газу віднесена до першої категорії (вугільні пласти в межах шахтного поля викидодобезпечні і не є небезпечними по гірським ударам). Саме тому цей показник не має сенсу. Але в інших гірничо-геологічних умовах розробки вугілля він є обов'язковим.

Проведений попередній аналіз дозволяє зробити висновок про тісноту зв'язків між обсягами видобутку вугілля та показниками впливу на НС [2]. Але в такому вигляді, ми маємо лише показники залежності між змінною Y та змінною X. Наша мета - дослідити зв'язок між результативною змінною Y та факторними змінними X. Це означає: зрозуміти наскільки сильно впливають різні X на значення Y (або як вони взаємопов'язані). Можливо, якісь фактори зовсім не пов'язані з Y, або навпаки пов'язані сильно. По-друге, наше завдання запропонувати таку формулу, за якою можна розрахувати Y, знаючи значення X або навпаки (залежно від показників, які нам відомі). У майбутньому це дає можливість, маючи отриману формулу, прогнозувати значення X знаючи значення Y чи навпаки, не проводячи жодних досліджень. Для досягнення поставленої мети, нам потрібно вирішити ряд завдань:

1. Виявити взаємозв'язки між змінними. Потім, оцінити силу цих зв'язків (зрозуміти, чи пов'язані вони сильно чи слабо).

2. Отримати математичну регресійну модель, а також перевірити її адекватність.

Для розрахунків ми будемо використовувати Excel, його вбудовані інструменти надбудову «аналіз». При моделюванні дотримуємося двох правил: 1 - у модель включатимемо змінні X, які не мають із залежною змінною Y значущої взаємозв'язку; 2 - з двох незалежних змінних, що мають один з одним високу ступінь кореляційної залежності, модель включаємо тільки одну (у якій найтісніший взаємозв'язок з Y).

Для створення регресійної моделі - парної лінійної регресії між видобутком вугілля та розглянутими показниками, де дані про статистичну залежність будуть задані у вигляді кореляційної матриці, вхідні дані переробляємо в зручний вигляд (табл. 2).

Таблиця 2

## Вхідні данні для розрахунку кореляційної матриці

	Видобуток вугілля, т/рік	Видобуток породи, т/рік	Викиди ЗР, т/рік	Викиди пилу вуглепородного, т/рік	Обсяг викидів парникових газів, т/рік	Об'єм шахтної води, що скинуто у поверхні води, тис. м <sup>3</sup> /рік	Скинуто в поверхні водні об'єкти ЗР, т/рік	Об'єм використання води (крім шахтної, всього, тис. м <sup>3</sup> /рік	Об'єм господарсько-побутових стоків, тис. м <sup>3</sup>
Рік	Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9
	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
2017	48893	39300	18,97	7,54	15220	1457	14,21	17,5	15,35
2018	46220	39590	18,4	7,89	15480	1449	14,31	18,1	15,88
2019	39553	28520	17,3	6,42	14900	1458	14,41	17,9	15,22
2020	18770	25520	16,25	4,37	13200	1448	14,11	17,91	15,57
2021	11347	20450	14,5	3,425	7270	1393	13,9	16,75	14,79

**Результати моделювання.**

За відібраними змінними будуємо регресійну модель у вигляді матриці парних порівнянь або парних коефіцієнтів кореляції (рис. 2). Закладений рівень значущості 0,05, надійність 0,95.

Аналіз матриці парних коефіцієнтів кореляції дає можливість оцінити тісноту зв'язку між параметрами впливу за показниками кореляції (R) та виконати процедуру ранжування.

Максимальні впливи під час видобутку вугілля:

1. Викиди пилу вуглепородного, т/рік - Видобуток вугілля, т/рік, R - 0,989669.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9
2	Column 1	1								
3	Column 2	0,931378	1							
4	Column 3	0,968095	0,960194	1						
5	Column 4	0,989669	0,958216	0,96525	1					
6	Column 5	0,868075	0,808968	0,917426	0,86753	1				
7	Column 6	0,76741	0,677369	0,837929	0,745312	0,972406	1			
8	Column 7	0,81259	0,621412	0,757958	0,797674	0,892767	0,861478	1		
9	Column 8	0,575856	0,547009	0,642893	0,617376	0,874046	0,859728	0,818301	1	
10	Column 9	0,552394	0,694604	0,667903	0,639046	0,77119	0,689169	0,56533	0,877346	1

Рис. 2. Матриця парних коефіцієнтів кореляції (парних порівнянь)

*Примітка.* При побудові матриці парних порівнянь ми включили всі змінні. Отриманий результат - симетрична за своїм визначенням матриця, де записані коефіцієнти кореляції, які трактуються наступним чином: наприклад, перетин стовпця 4 і стовпця 2 - значення, яке показує, яким чином залежить стовпець 4 від стовпця 2.

2. Викиди ЗР, т/рік - Видобуток вугілля, т/рік, R - 0,968095.

3. Видобуток породи, т/рік - Видобуток вугілля, т/рік, R - 0,931278.

Сильний зв'язок:

1. Видобуток вугілля, т/рік - Обсяг викидів парникових газів, т/рік, R - 0,868075.

2. Видобуток вугілля, т/рік - Скинуто в поверхневі водні об'єкти ЗР, т/рік R - 0,81259.

Середній зв'язок:

1. Видобуток вугілля, т/рік - Об'єм шахтної води, що скинуто у поверхневі води, тис. м<sup>3</sup>/рік R - 0,76741.

Мінімальний зв'язок:

1. Об'єм використання води (крім шахтної), всього, тис. м<sup>3</sup>/рік - Видобуток вугілля, т/рік R - 0,575856.

2. Об'єм господарсько-побутових стоків, тис. м<sup>3</sup> - Видобуток вугілля, т/рік, R - 0,552394.

Інші показники також пов'язані між собою кореляційною залежністю, наприклад:

Сильний зв'язок:

1. Видобуток породи , т/рік - Викиди ЗР, т/рік, R - 0,960194.
2. Викиди пилу вуглепородного, т/рік - Викиди ЗР, т/рік, R - 0,96525.
3. Об'єм шахтної води, що скинуто у поверхневі води, тис. м<sup>3</sup>/рік - Об'єм шахтної води, що скинуто у поверхневі води, тис. м<sup>3</sup>/рік, R - 0,972406.
4. Викиди пилу вуглепородного, т/рік - Видобуток породи, т/рік, R - 0,958216.
5. Обсяг викидів парникових газів , т/рік - Викиди ЗР, т/рік , R - 0,917426.

Сильний зв'язок:

1. Обсяг викидів парникових газів , т/рік - Видобуток породи , т/рік R - 0,808968.

Слабий зв'язок:

1. Об'єм використання води (крім шахтної), всього, тис. м<sup>3</sup>/рік - Видобуток породи , т/рік R - 0,547009.
2. Скинуто в поверхневі водні об'єкти ЗР, т/рік - Об'єм господарсько-побутових стоків, тис. м<sup>3</sup> R - 0,56533.

Тобто, максимальне навантаження на довкілля під час видобутку вугілля здійснюється по позиціях: Викиди пилу вуглепородного, т/рік, Викиди ЗР, т/рік, Видобуток породи, т/рік, Обсяг викидів парникових газів, т/рік, Скинуто в поверхневі водні об'єкти ЗР, т/рік.

### **Верифікація моделі: перевірка статистичної значущості.**

Надалі, перевіряємо значущість коефіцієнтів кореляції (рівень значущості) між Y та кожною незалежною змінною (рівень значущості 0,05) між Y та кожною незалежною змінною за допомогою статистики.

По-перше, розглянемо лінійну парну регресію двох змінних – «Видобуток вугілля, т/рік» (Y) та «Видобуток породи, т/рік» (X1). На рисунку 3 відображено поле парної кореляції та математичне рівняння, за яким можна здійснювати розрахунок взаємозалежних змінних Y та X1. Рівняння має вигляд:

$$Y = 1,8491X - 23767$$

Тобто, маючи дані про видобуток вугілля, ми можемо завжди розрахувати кількість видобутку породи.

Після того, як знайдено показники регресійної моделі, виникає питання. Чи можна вважати, що їх оцінки, отримані на основі вибіркового даних, будуть такими ж і для всієї генеральної сукупності?

Адже самі оцінки, природно, змінюються і при додаванні до вихідної вибірки нових даних, і при переході до іншої вибірки. Таким чином, виникає проблема обґрунтованості поширення висновків, отриманих на основі конкретної вибірки, на всю генеральну сукупність. Ця проблема одержала назву



«Проблема оцінки статистичної значущості». Рішення її здійснюється за допомогою апарата перевірки статистичних гіпотез.

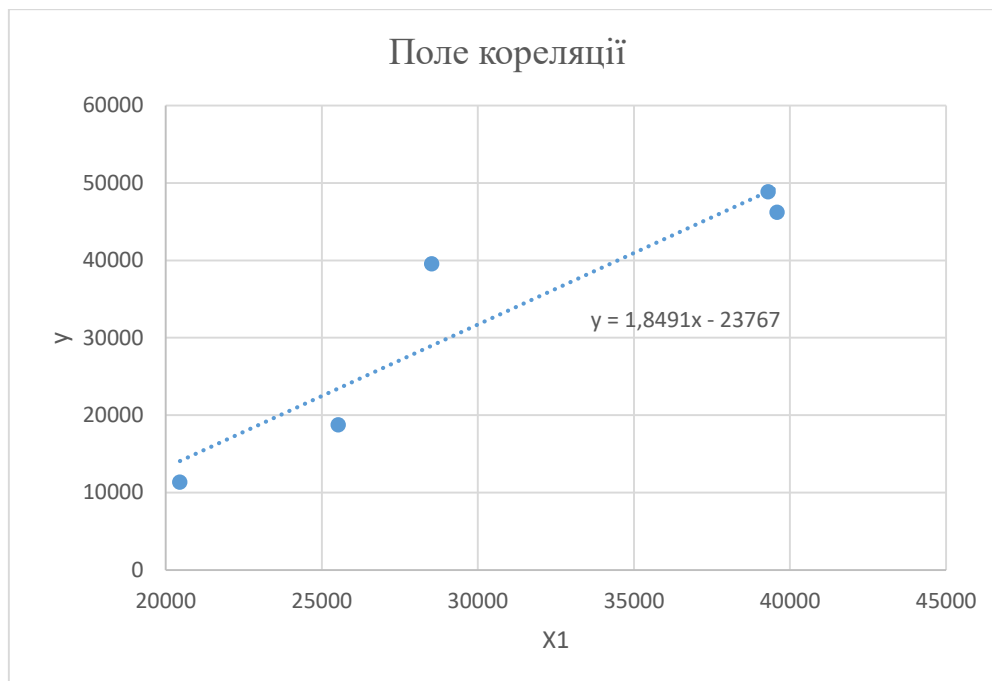


Рис. 3. Поле парної кореляції «Видобуток вугілля, т/рік» (Y) та «Видобуток породи, т/рік» та математичне рівняння.

Оскільки у нас вийшла математична модель або по-іншому регресійна модель, її перевіряємо на адекватність, тобто розглядаємо, наскільки вона відповідає даним, які у нас є. Маємо наступний розрахунок адекватності (рис. 4), який дозволяє визначити середню помилку апроксимації отриманої математичної моделі для X1.

Виконаний під час дослідження дисперсійний аналіз, метою якого є вивчення значимості різниці між середніми (для груп чи змінних), проводився з допомогою розбиття суми квадратів на компоненти, тобто, за допомогою розбиття загальної дисперсії (варіації) на частини, одна з яких обумовлена випадковою помилкою (тобто внутрішньо груповою мінливістю), а друга пов'язана з різницею середніх значень. Остання – компонент дисперсії – потім використовується нами для аналізу статистичної значущості відмінності між середніми значеннями.

Якщо вплив фактору не суттєвий, то несуттєвою є і різниця між класами градації цього фактору, і в ході дисперсійного аналізу нульова гіпотеза  $H_0$  не відкидається. Якщо вплив чинника істотний, то нульова гіпотеза  $H_0$  відкидається: в повному обсязі класи градації мають те саме середнє значення,



тобто серед можливих різниць між класами градації одна чи кілька є суттєвими. В такому випадку приймається альтернативна гіпотеза існування різниці між середніми значеннями. В даному випадку нами зроблений однофакторний дисперсійний аналіз для фактору «Видобуток вугілля, т/рік» (Y) - «Видобуток породи, т/рік».

Regression Statistics	
Multiple R	0,931377659
R квадрат	0,867464344
Нормований R квадрат	0,823285792
Стандартна похибка	7101,810839
Спостереження	5

Дисперсійний аналіз					
	df	SS	MS	F	Significance F
Регресія	1	990326397,6	990326397,6	19,63541817	0,021355541
Залишки	3	151307151,6	50435717,19		
Всього	4	1141633549			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 99,0%	Upper 99,0%
Y перетин	-23766,66833	13189,03656	-1,802001854	0,169340183	-65740,06902	18206,73235	-100802,6348	53269,29812
X1 перетин	1,849109021	0,417294288	4,431186993	0,021355541	0,521092356	3,177125686	-0,58826907	4,286487113

Рівняння кореляції:  $Y = -23766,668 + 1,84911 * X$        $X = (Y + 23766,668) / 1,84911$

Спостереження	Прогнозне Y	Залишки	Середня помилка апроксимації
1	48903,3162	-10,3161988	0,02109509
2	49439,55781	-3219,557815	6,51210884
3	28969,92095	10583,07905	36,53126658
4	23422,59389	-4652,593887	19,86370045
5	14047,61115	-2700,611149	19,22470035

16,43057 16 відсотків

Рис. 4. Регресійна модель та підсумок її перевірки на адекватність.

В наших розрахунках отримана модель має середню помилку апроксимації 16%, що є дуже добрим результатом (колонка Q 49 жовтого кольору). Графічний вигляд інтерпретації залишків X1 та лінійного графіку залежності Y - X1 додано на рис 5 та 6 відповідно.

Наприкінці, нам необхідно порівняти вхідні та модельні значення Y в умовах здійснених розрахунків, тобто - рівень значущості 0,5, надійність 0,99 (вони були закладені як constant при побудові моделі). Результат отриманого порівняння (рис. 7) свідчить про те, що прогнозування виконано дуже вдало.

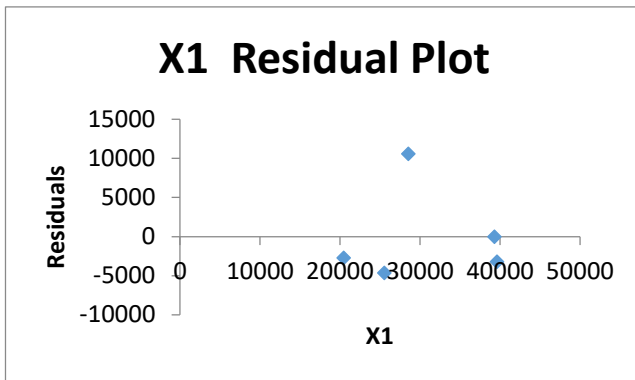


Рис. 5. Графічна інтерпретація залишків X1

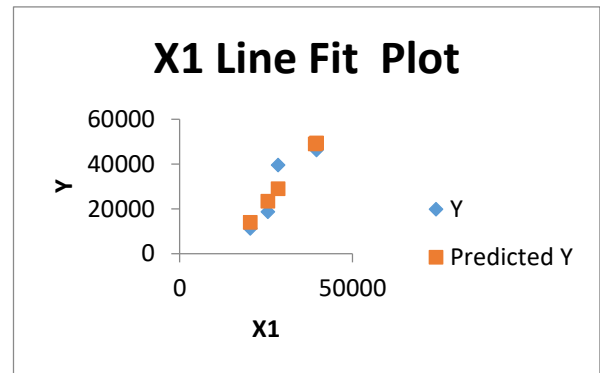


Рис. 6. Лінійний графік залежності Y - X1

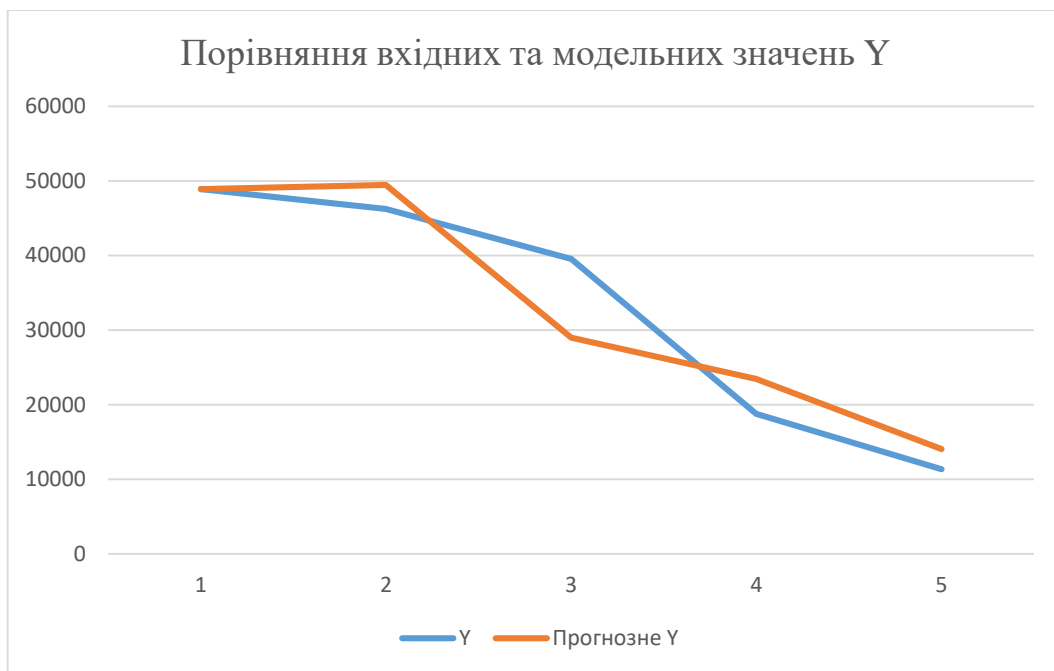


Рис. 7. Результат отриманого порівняння вхідних та модельних значень Y.

Проаналізуємо лінійну парну регресію наступної пари змінних: «Видобуток вугілля, т/рік» (Y) та «Викиди парникових газів, т/рік» (X1) (рис. 8).

В наших розрахунках отримана модель має середню помилку апроксимації 24%, що наближено до доброго результату (колонка жовтого кольору). Графічний вигляд інтерпретації залишків X1 та лінійного графіку залежності Y - X1 додано на рис. 9 та 10 відповідно.

Діаграма 5										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	SUMMARY OUTPUT	Викиди парникових газів та видобуток					Y	Прогнозне Y		
2										
3	Regression Statistics					48893	41508,6655			
4	Multiple R	0,86807542				46220	42617,1087			
5	R Square	0,753554934				39553	40144,4277			
6	Adjusted R Square	0,671406579				18770	32896,9146			
7	Standard Error	9684,178766				11347	7615,88351			
8	Observations	5								
9										
10	Дисперсійний аналіз									
11		df	SS	MS	F	Significance F				
12	Регресія	1	860283594,1	860283594,1	9,173098255	0,056368454				
13	Залишки	3	281349955,1	93783318,37						
14	Всього	4	1141633549							
15										
16		Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%	
17	Y перетин	-23377,89322	19097,69935	-1,224120916	0,308271933	-84155,29595	37399,5095	-84155,29595	37399,5095	
18	X1 перетин	4,263243017	1,407609103	3,02871231	0,056368454	-0,216397372	8,742883405	-0,216397372	8,742883405	
19										
20	рівняння кореляції		$Y = -23377,8932 + 4,26324 * X$		$X = (Y + 23377,8932) / 4,26324$					
21										
22	Виведення залишку				PROBABILITY OUTPUT					
23								Середня помилка апроксимації		
24	Спостереження	Прогнозне Y	Залишки	tandard Residuals	Percentile	Y			17,78986	
25	1	41508,66549	7384,334509	0,880476831	10	11347			8,454096	
26	2	42617,10868	3602,891324	0,429593531	30	18770			1,47325	
27	3	40144,42773	-591,4277261	-0,070519342	50	39553			42,94298	
28	4	32896,9146	-14126,9146	-1,684433578	70	46220			48,99125	
29	5	7615,883509	3731,116491	0,444882558	90	48893			23,93	
30									24 відсотків	

Рис. 8. Регресійна модель та підсумок її перевірки на адекватність

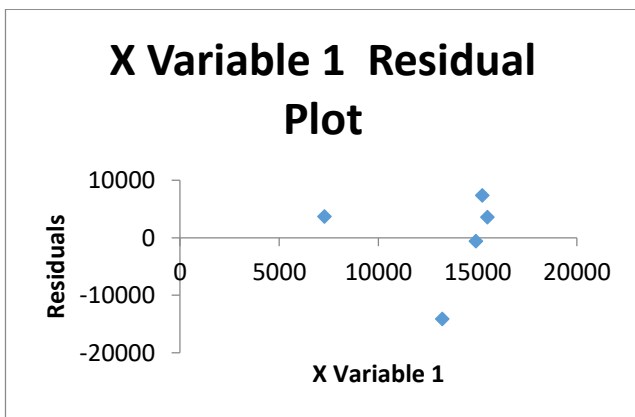


Рис. 9. Графічна інтерпретація залишків X1

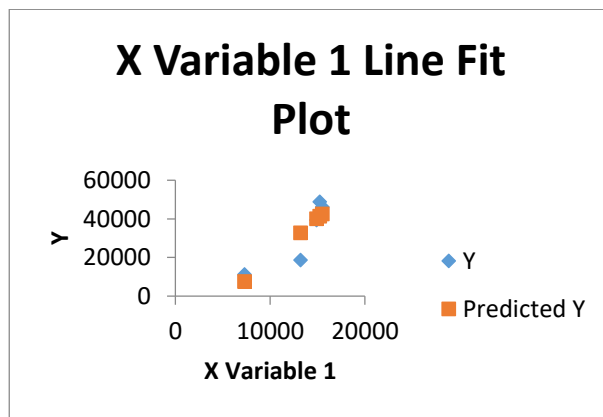


Рис. 10. Лінійний графік залежності Y - X1

На рисунку 11 відображено поле парної кореляції та математичне рівняння, за яким можна здійснювати розрахунок взаємозалежних змінних Y та X1.

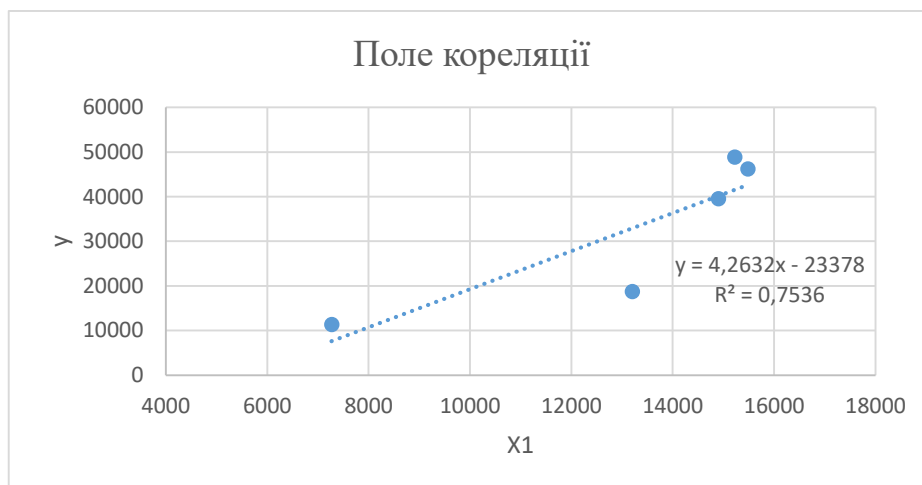


Рис. 11. Поле парної кореляції «Викиди парникових газів , т/рік» (Y) та «Видобуток породи , т/рік» та математичне рівняння.

Отримане для розрахунку рівняння має наступний вигляд:

$$Y = 4,2632X - 23378$$

Наступний етап - порівняння вхідних та модельних значень Y в умовах здійснених розрахунків [3], тобто - рівень значущості 0,5, надійність 0,99 (вони були закладені як constant при побудові моделі). Результат отриманого порівняння (рис. 12) свідчить про те, що прогнозування виконано доволі вдало.

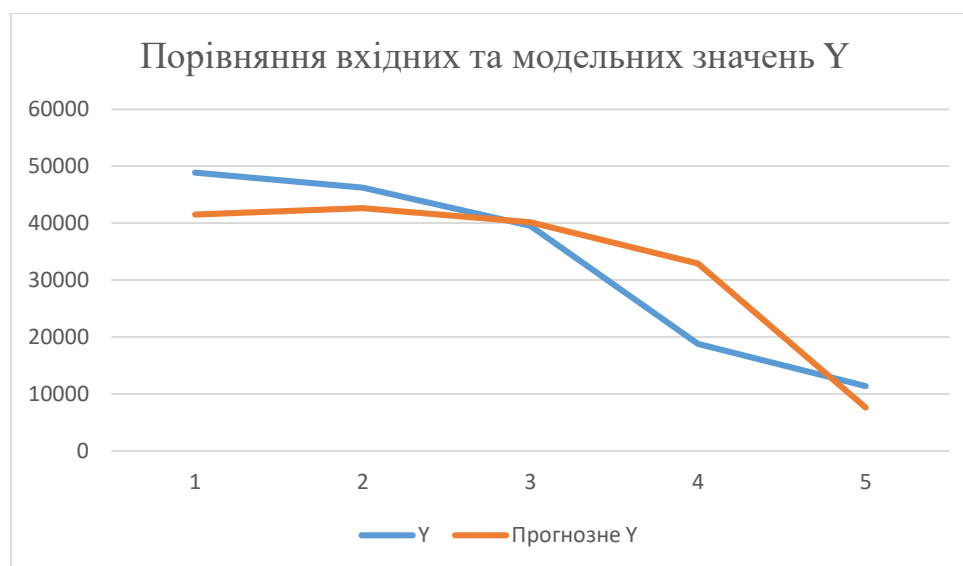


Рис. 12. Результат порівняння вхідних та модельних значень Y.

Аналогічним чином, розраховуємо лінійну множинну регресію двох змінних – «Видобуток вугілля, т/рік» (Y) та «Скинута вода , т/рік» (X1) та «Скинути ЗР» (X2) – рис. 13.

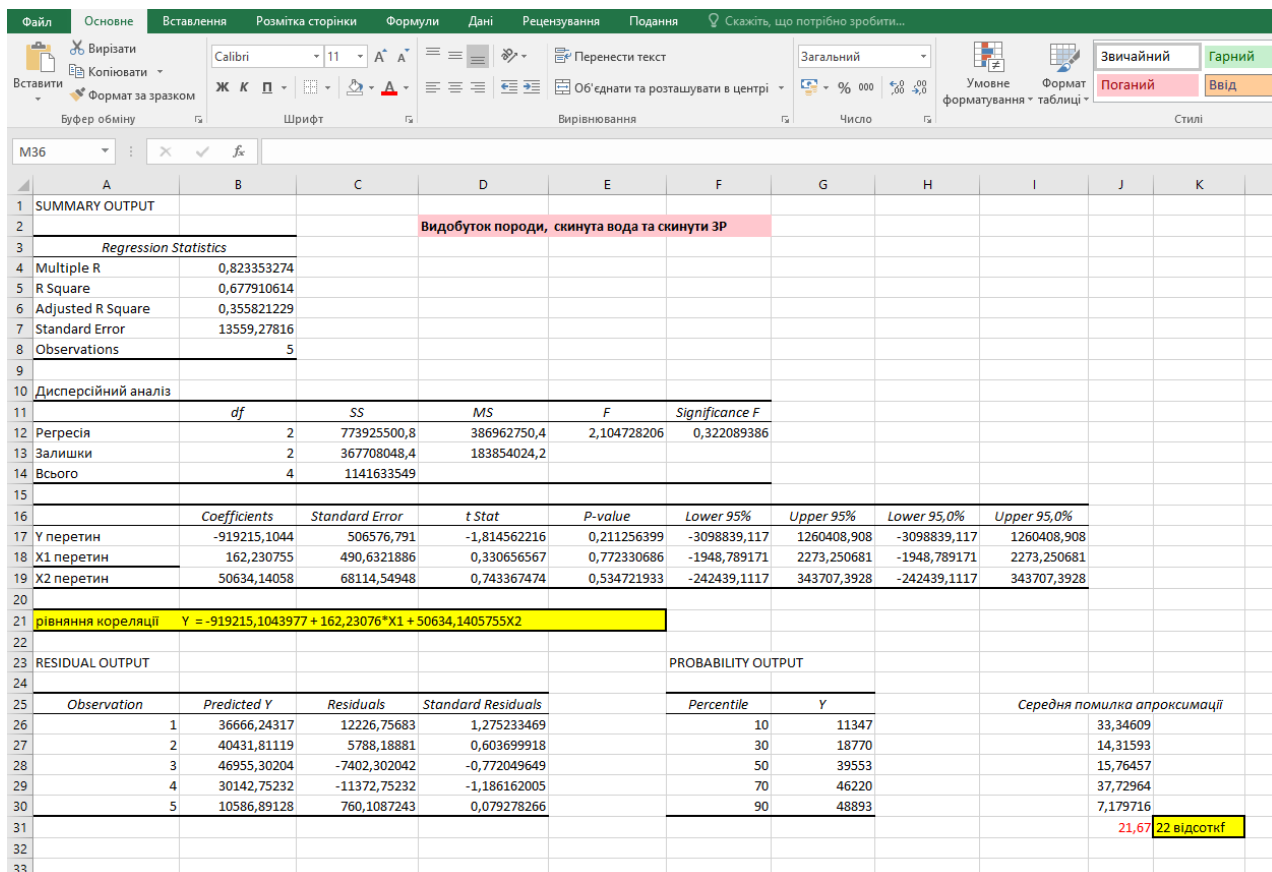


Рис. 13. Результат множинної регресії двох змінних – «Видобуток вугілля, т/рік» (Y) та «Скинута вода, т/рік» (X1) та «Скинута ЗР» (X2).

В наших розрахунках отримана модель множинної регресії має середню помилку апроксимації 22%, що є добрим результатом (колонка жовтого кольору). Графічний вигляд інтерпретації залишків X1 та X2 додано на рис. 14 та 15 відповідно.

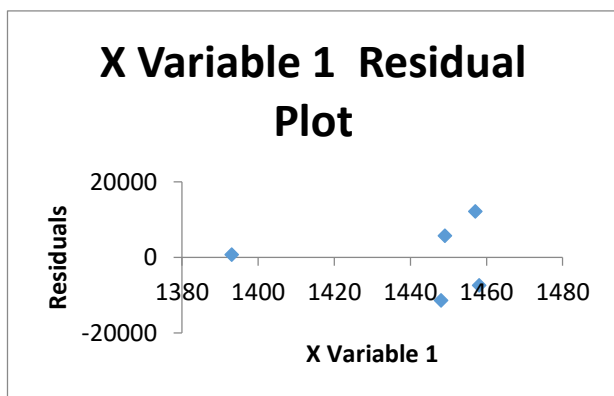


Рис. 14. Графічний вигляд інтерпретації залишків X1

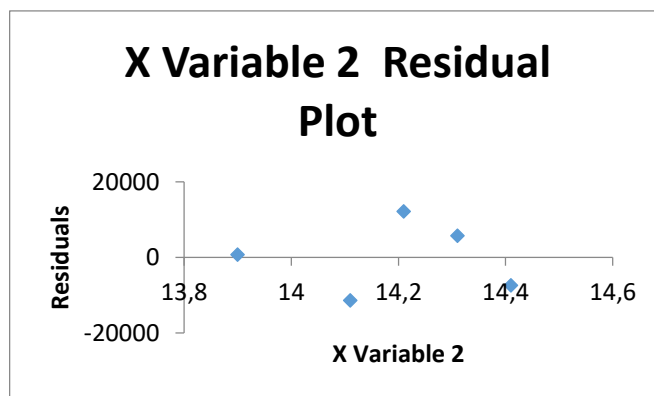


Рис. 15. Графічний вигляд інтерпретації залишків X2

Порівняння вхідних та модельних значень  $Y$  в умовах здійснених розрахунків, тобто - рівень значущості 0,5, надійність 0,99 (вони були закладені як constant при побудові моделі). Результат отриманого порівняння (рис. 16) свідчить про те, що прогнозування можна покращити, хоча для множинної регресії доволі вдалий результат.

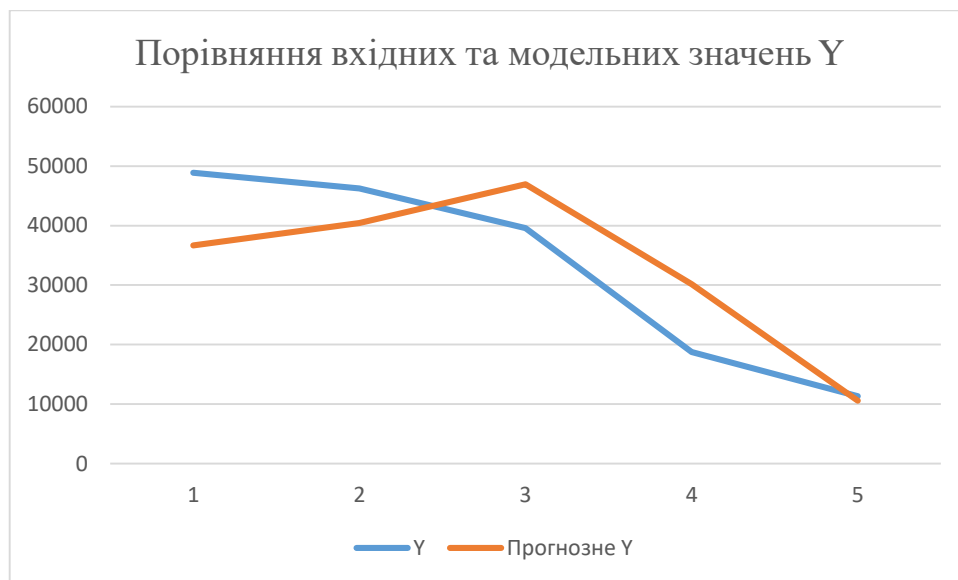


Рис. 16. Порівняння вхідних та прогнозованих даних

На рисунку 17 відображено поле множинної кореляції та математичні рівняння, за яким можна здійснювати розрахунок взаємозалежних змінних  $Y$  та  $X_1, X_2$ .

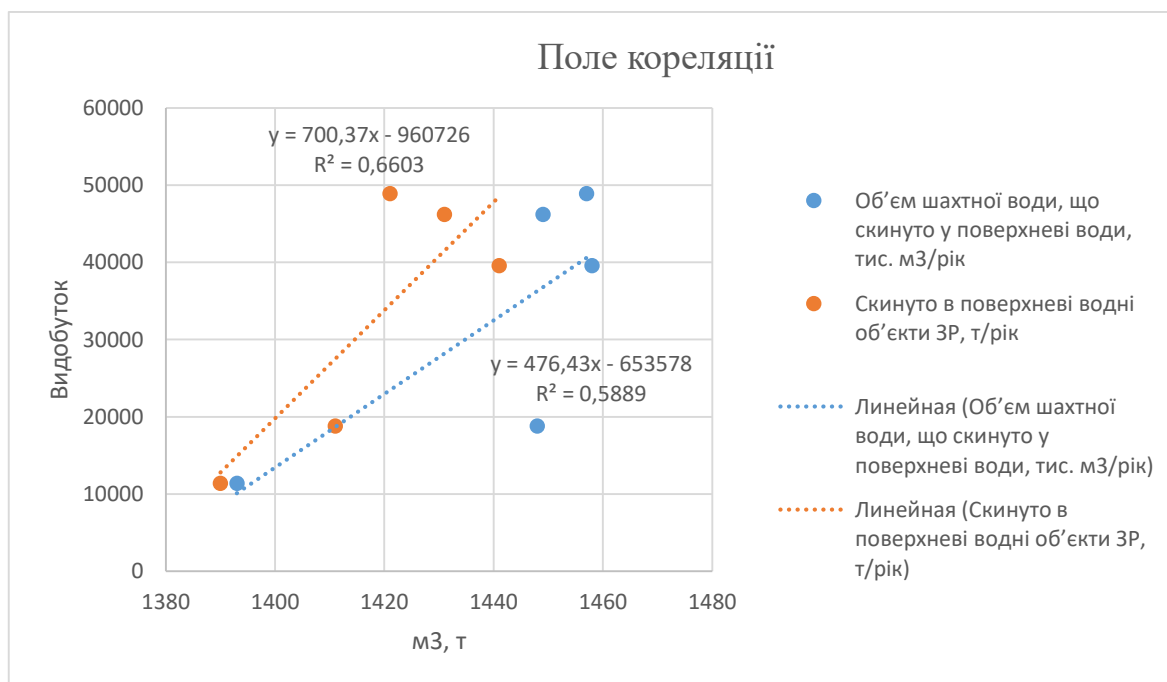


Рис. 17. Поле множинної лінійної кореляції

З виду кореляційного поля (рис. 17) можна зробити висновок про те, що між результуючою ознакою  $Y$  та фактором  $X$  існує пряма залежність, тобто, зі зростанням видобутку збільшується обсяг шахтної води та скидання в поверхневі води. Хоча таке поведінка описується не високими показниками зв'язку. У даному випадку можна лише припустити, що форма зв'язку між результуючою ознакою  $Y$  та фактором  $X$  є лінійною.

*Рівняння залежності «Видобуток» та «Об'єм шахтної води, що скинуто в поверхневі водні об'єкти» має вигляд:*

$$Y = 476,43X - 653578$$

Ми розглядаємо оцінку тісноти зв'язку між змінними  $X$  та  $Y$  як один із елементів верифікації моделі, хоча, в ряді випадків, її корисно провести на етапі специфікації. Це пов'язано з тим, що якщо лінійний коефіцієнт кореляції  $XY - R$  виявляється недостатньо високим (лінійний зв'язок слабкий, помірний або навіть помітний), то вже на ранній стадії економетричного моделювання слід подумати про доцільність вибору парної моделі з цими показниками.

Розкриваючи взаємозв'язки процесів, що вивчаються, економетричні моделі не вирішують питання причини цих взаємозв'язків. Може виявитися, що спільні зміни змінних зовсім не означають причинних причин зв'язків між ними. І якщо це так, то одна з головних цілей економетрики, яка полягає у виробленні рекомендацій для прийняття ефективного рішення, не буде досягнуто, тому що буде невідомо, на який фактор треба впливати.

Саме тому, при відборі впливових змінних (незалежні змінні) треба використовувати такі показники  $KK$ , які близькі до 0,7 та вище (мультиколінеарність). Інші можна виключити з аналізу.

Отримані розрахунки свідчать про те, що найбільш впливовий ПЗ (має значний кореляційний зв'язок з обсягом видобутку) стосується атмосфери – «Викиди пилу вуглепородного» ( $R=0,9897$ ), тому що видобуток вугілля передбачає виїмку породи як у підготовчих, так і в експлуатаційних виробках, та підняття всіх отриманих обсягів на поверхню.

Інший варіант впливу «Викиди пилу вуглепородного» стосується також і ґрунтів, бо пов'язаний, в основному, із видобуванням вугілля та розміщенням гірської породи у відвалі.

Характеристика діючого породного відвалу: площа основи 31,8 тис. м<sup>2</sup>; висота 29 м; стан: не горить. Кількість складованої породи 543,5 тис.м<sup>3</sup>; вміст золи 98%, вміст сірки 3,2%, об'ємна щільність 2,46 т/м<sup>3</sup>. Розмір механічної захисної зони 25 м. Площа механічної захисної зони 20 тис.м<sup>2</sup>. У механічній зоні житлові будинки та соціальні або культурні об'єкти відсутні.



Для зниження негативного впливу на довкілля показника «Викиди пилу вуглепородного» необхідно застосувати технологію, яка включає зволоження вугілля при видобуванні в шахті та зрошення вугілля на грохоті та в місцях пересипу.

З іншої сторони, треба позбутися можливостей samozапалювання породи, змиву породи і розчинених речовин на прилеглі території під дією опадів, видування і рознесення породи вітром. Для цього, необхідне використати засоби з біологічного етапу рекультивації відвала, який передбачає наявність рослинного покриву для захисту укосів відвалу від вітрової та водяної ерозії. Тобто, зробити озеленення відвалу деревними і кущовими рослинами на схилах. В тому числі, потрібно облаштувати навколо відвалу водозабірну канаву для попередження забруднення прилеглих до відвалу територій зливними стоками з породного відвалу, які вміщують більшу кількість часток пилу та створити біля відкосів щільний повітронепроникний шар ізольованим інертним ґрунтом шириною майже 20м (виключення можливості samozапалення породної маси).

Для попередження запиленості ґрунтових доріг на породному відвалі необхідно включити у список заходів полив водою в засушливий період року. Формування породного відвалу повинно вестись при постійному моніторингу з періодичністю спостережень не рідше 1 раз на квартал.

Найбільш вагомий вплив на землю також пов'язаний з видобутком вугілля та з відвалами - «видобуток породи» ( $R=0,9314$ ), який потребує великий обсяг земель під складування відвальної породи.

З цього приводу можна рекомендувати використовувати породу для інших цілей, наприклад засипання доріг, створення бутових фундаментів та інші варіанти рециклінгу.

За умови, що «Викиди ЗР в атмосферу» теж мають великий коефіцієнт зв'язку ( $R=0,9681$ ) та дуже сильно впливають на поточний стан довкілля, повітряний басейн в зоні діяльності шахти «Бужанська» забруднюється при навантаженні вугілля та розвантаженні гірничої породи у відвал (і вивезенні її). Крім того, на території шахти розміщено інші виробничі об'єкти та джерела викидів в атмосферу шкідливих речовин, в тому числі: вентилятори провітрювання шахти, які викидають в повітря пил вугілля, метан; виробнича котельня (обігрів шахтних стволів, підігрів води для використання в лазні і опалення приміщень); механічний цех, який працює на твердому паливі. Забруднюючі речовини – діоксид азоту, сірки, оксид вуглецю, пил, важкі метали, парникові гази. Ще одна діяльність - місце електро- та газозварювання, від якого в атмосферу виділяються оксид заліза, марганцю, азоту, вуглецю.

Викиди парникових газів менш залежать від видобутку ( $R=0,8685$ ), бо пласти вугілля викидодобезпечні (не мають метану), тобто залежать більшою мірою від виробничих процесів (спалювання моторного палива, робота котельної та ін.).

Що стосується впливу вугільної промисловості на водний басейн, то з отриманих даних, маємо, що показники забруднення та споживання води мають недостатній зв'язок з показниками видобутку: «Об'єм шахтної води, що скинута у поверхневі водні об'єкти» ( $R=0,7751$ ) та «Скинута в поверхневі водні об'єкти ЗР» ( $R=0,7833$ ). При осушенні гірничих виробок притік води майже постійний, тому об'єми скинутих шахтних вод залежать не від видобутку, а від притоку. Останній залежить від гірничо-геологічних умов (зони тріщинуватості, локального заміщення та т. і.).

Тим не менш, оскільки шахтні води скидаються в р. Студянка, після відстоювання в ставку-накопичувачі, цей ставок потрібно постійно очищувати та ремонтувати у разі його руйнування. Спостереження за якістю стічних, технічних вод, поверхневих та підземних необхідно проводити з періодичністю 4 рази на рік.

Збільшення видобутку практично не корелює з обсягом забору свіжої води ( $R=0,5753$ ), тому що остання не використовується у процесі видобутку, а тільки у технологічно-обслуговуючих процесах (бані, водопостачання).

Така ж саме ситуація склалася з об'ємом господарсько-побутових стоків ( $R=0,5524$ ). Цей показник залежить від кількості працівників, яка хоча й опосередковано, але зв'язана з видобутком вугілля. Тим не менш, необхідно сконцентрувати зусилля на підвищення ефективності механічної очистки стічних вод.

Як ми вже вказували раніше, в результаті підземної відробки вугільного пласта, земна поверхня в межах зони впливу буде мати величини осідань до 400 мм. Враховуючи, що поверхня в зоні впливу має сильно виражені елементи рельєфу, тому підтоплення території не буде критичним. Ймовірно орні землі та землі держлісфонду захисту не потребують.

### **Висновки.**

За результатами дослідження зв'язків між показниками темпів розвитку шахти (обсягом видобутку вугілля) та мірою впливу видобутку вугілля на забруднення НС вперше використані коефіцієнти кореляції, що розраховані методом кореляційно-регресійного аналізу багатовимірних даних, в системі «обсягу видобутку - показник забруднення» та створено ранжування показників інтенсивності впливу. Проведено діагностику і опис зв'язків між показниками розвитку і показниками забруднення НС. Використання статистичного

інструментарію для дослідження ступеня впливу будь-якого виробництва на НС, на нашу думку, дуже ефективний прийом для науково-обґрунтованого аналізу екологічної шкоди. Саме тому, в наведеному дослідженні запропоновано виявляти вплив підприємства на НС за допомогою коефіцієнтів кореляції (R).

Розв'язання економетричної задачі в нашому дослідженні мало такі етапи: постановний (визначення цілей та завдань дослідження і виділення факторів та показників, що визначають досліджувані екологічні процеси), специфікації (вибір формули зв'язків між змінними, що позначають виділені чинники), параметризації (вирішення завдання оцінки значень параметрів обраної функції зв'язку, тобто, завдання підбору коефіцієнтів функції таким чином, щоб ця функція в певному сенсі найкращим чином відображала залежність між фактором, що пояснюється, і незалежними змінними), верифікації (перевірка адекватності моделі, тобто, перевірку того, якою мірою побудована модель відповідає реальному економічному явищу чи процесу та статистична значимість знайдених властивостей).

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Каморников С. Ф., Каморников С. С. Эконометрика : учеб. пособие. М.: Интеграция, 2012. 262 с.
2. Ковальчук А.В., Ковальчук А.В., Д'яченко Н.О., Улицький О.А. Статистичний інструментарій дослідження впливу вугільної промисловості на довкілля. *Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження»* (1-2 грудня 2022 року, Полтава). Полтава : НУПП, 2022. С. 108-111.
3. Резнікова Н.В. Глобальні екологічні проблеми в сучасному світі: екологічна детермінанта міжнародних економічних відносин. К.: Вістка, 2016. 216 с.

### **REFERENCES**

1. Kamornikov S.F., Kamornikov S.S. 2012. Econometrics: textbook. Allowance. Moscow: Integratsiya. 262 p. – in Russian
2. Kovalchuk A.V., Kovalchuk A.V., Diachenko N.O., Ulytskiy O.A. 2022. Statistical tools for the study of the impact of the coal industry on the environment. *Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Ecology. Environment Energy Saving"* (December 1-2, 2022, Poltava). Poltava: NUPP. P. 108-111. – in Ukrainian
3. Reznikova N.V. 2016. Global environmental problems in the modern world: environmental determinants of international economic relations. K.: Vistka. 216 p. – in Ukrainian

**N.O. Diachenko, O.V. Vlasenko, A.V. Kovalchuk**

### **ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL IMPACT FACTORS OF COAL MINING BY MEANS OF CORRELATION-REGRESSION ANALYSIS**

A study was conducted on the evaluation of the factors of influence of coal mining on the environment by means of correlation-regression analysis. The study analyzed the relationships between indicators of mine development rates (volume of coal

production) and the degree of impact of coal production on environmental pollution. For this purpose, the correlation coefficients calculated by the method of correlation-regression analysis of multidimensional data were used for the first time in the "mining volume - pollution indicator" system, and a ranking of the impact intensity indicators was created using the example of the Buzhanska mine. Excel software, its built-in tools and the "analysis" add-on were used for calculations.

As a result of the conducted research, a multiple correlation matrix was calculated, a ranking of pollution indicators was developed by the value of correlation coefficients, models were verified, and mathematical formulas for calculating interrelated indicators were developed. The models obtained in our calculations have an average error of approximation from 16 to 22% (at a significance level of 0.5, reliability of 0.99).

The obtained calculations indicate that the most influential indicator of pollution (has a significant correlation with the volume of production) concerns the atmosphere - "Emissions of coal dust" ( $R=0.9897$ ). Emissions of hazardous waste into the atmosphere also have a large correlation coefficient ( $R=0.9681$ ). Greenhouse gas emissions are less dependent on mining ( $R=0.8685$ ), because coal seams are emission-free. The most important impact on the land is "extraction of rock" ( $R=0.9314$ ). As for the influence of the coal industry on the water basin, from the obtained data, we have that the indicators of pollution and water consumption have an insufficient relationship with the indicators of production: "Volume of mine water discharged into surface water bodies" ( $R= 0.7751$ ) and "Discharged into surface water bodies of ZR" ( $R=0.7833$ ). The increase in extraction practically does not correlate with the amount of fresh water intake ( $R=0.5753$ ). The same situation exists with the volume of household waste ( $R=0.5524$ ). Ways of greening the impact are proposed.

**Key words:** mining, pollution, correlation coefficient, matrix, regression.

**Н.О. Дьяченко, О.В. Власенко, А. В. Ковальчук**

### **ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИОННО- РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА**

В работе проведены исследования по оценке факторов влияния добычи каменного угля на окружающую среду путем корреляционно-регрессионного анализа. В исследовании проанализированы связи между показателями темпов развития шахты (объем добычи угля) и степени воздействия добычи угля на загрязнение окружающей среды. При оценке воздействия в исследовании впервые использованы коэффициенты корреляции, рассчитанные методом корреляционно-регрессионного анализа многомерных данных в системе «объем добычи - показатель загрязнения» а также проведено ранжирование показателей по интенсивности воздействия на примере шахты «Бужанская». Для расчетов использовано ПО Excel, его встроенный инструмент надстройки «анализ». В

результате проведених досліджень розрахована множественная кореляційна матриця, розроблено ранжування показників забруднення по значенню коефіцієнтів кореляції, произведена верифікація математических моделей, розроблені математическі формули расчета взаємозв'язаних показників. Полученные в наших расчетах модели имеют среднюю ошибку аппроксимации от 16 до 22 % (при уровне значимости 0,5, надежности 0,99).

Полученные в исследовании расчеты свидетельствуют о том, что наиболее влиятельный показатель (наибольшая корреляционная связь с объемом добычи) касается атмосферы «Выбросы углеродной пыли» ( $R=0,9897$ ). Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу имеют большой коэффициент взаимосвязи ( $R=0,9681$ ). Выбросы парниковых газов менее зависят от показателя добычи ( $R=0,8685$ ), так как пласты угля не выбросоопасны. Наиболее весомое влияние на землю оказывает «добыча породы» ( $R=0,9314$ ). Что касается влияния угольной промышленности на водный бассейн, то из полученных данных, имеем, что показатели загрязнения и потребления воды имеют недостаточные связи с показателями добычи: «объем шахтной воды, сброшенной в поверхностные водные объекты» ( $R=0,7751$ ) и «сброшенные в поверхностные водные объекты загрязняющие вещества» ( $R=0,7833$ ). В работе предложены пути экологизации угольной промышленности.

Ключевые слова: горные работы, загрязнение, коэффициент корреляции, матрица, регрессия.

Державна установа «Науковий центр гірничої геології, геоекології та розвитку інфраструктури» НАН України, м. Київ, Україна

Наталія Д'яченко

кандидат геологічних наук

e-mail: natalidyachenko1969@gmail.com

<https://orcid/0000-0002-4852-0203>

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління. м. Київ, Україна

Олег Власенко

аспірант

Алевтина Ковальчук

магістр

Стаття надійшла: 26.04.2022