

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВРАХУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФІЗИКО-ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОЗРОБКАХ

В. В. Артамонов, М. Г. Василенко, В. М. Чебенко

Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: gzk@kdu.edu.ua

Для рейтингової оцінки впливу численних природних та антропогенних факторів на прояв небезпечних фізико-геологічних процесів при відкритих гірничих розробках, використано метод аналізу ієрархій (МАІ), який визнано ефективним для моделювання слабо структурованих ієрархічних систем за умов невизначеності. МАІ дає змогу розв'язувати багатофакторні задачі оцінювання компонентів систем, встановлювати їх ваги і визначити вплив цих елементів на об'єкт прогнозування. Отримані дані оптимізують запровадження інженерних заходів, необхідних для зменшення негативного впливу факторів, які виявлено найбільш небезпечними.

Ключові слова: кар'єри, безпека, невизначеність, оптимізація, фактори.

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УЧЕТА ОПАСНЫХ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ

В. В. Артамонов, М. Г. Василенко, В. Н. Чебенко

Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: gzk@kdu.edu.ua

Для рейтинговой оценки воздействия многочисленных природных и антропогенных факторов на проявление опасных физико-геологических процессов при открытых горных разработках, использован метод анализа иерархий (МАИ), который признан эффективным для моделирования слабо структурированных иерархических систем в условиях неопределенности. МАИ позволяет решать многофакторные задачи оценивания компонентов систем, устанавливать их веса и определить влияние этих элементов на объект прогнозирования. Полученные данные оптимизируют введения инженерных мероприятий, необходимых для уменьшения негативного влияния факторов, которые выявлены наиболее опасными.

Ключевые слова: карьеры, опасность, неопределенность, оптимизация, факторы.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Процес довільнбюого землекористування обумовлює дисбаланс складових частин природного середовища, що неминуче призводить до появи небезпечних фізико-геологічних процесів. Особливо вразливого та стрімкого розвитку ці процеси набувають на територіях, зайятих під відкритими гірничими розробками з надмірним антропогенним навантаження на їх природні складові.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Оцінювання територій під розробку родовищ, а згодом і використання цих територій потребує знання факторів, що значно впливають на стійкість геологічного середовища. Недосконале оцінювання та визначення таких факторів перед початком розробки родовища суттєво впливає на якість довгострокових прогнозів змін природних компонентів і призводять як до виникнення несприятливих умов для видобутку корисних копалин, так і до унеможливлення взагалі подальшого проведення гірничих робіт.

Обґрунтований вибір факторів, що суттєво впливають на зміну стану таких територій, доцільно здійснити методом аналізу ієрархій (МАІ), який з успіхом використовується [1–3] для розв'язання широкого кола складних нечітко визначених задач.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Світовий та вітчизняний досвід спостереження, запобігання та ліквідації небезпечних фізико-геологічних процесів на територіях землекористувань відкритих гірничих розробок систематизовано у монографіях та інструкціях [2–5], якими зокрема визнається складність та неоднозначність впливів значної кількості природних і особливо антропогенних чинників на стійкість масивів кар'єрів та їх безпечну експлуатацію.

Практика застосування МАІ для вирішення задач землекористування свідчить [6, 7] про його доцільність та ефективність в рамках системного підходу щодо створення оптимізаційних моделей раціонального використання земельних ресурсів.

Очевидно, що фізико-геологічні процеси та явища, які негативно впливають на відкриті гірничі розробки, виникають та розвиваються насамперед через додатковий антропогенний вплив на сили та стійкість геологічного середовища території кар'єра.

Стосовно негативних впливів на територію відкритих гірничих розробок [2, 4], акцентуючи увагу переважно на небажаних інженерно-геологічних процесах, достатньо вичерпним є їх альтернативний перелік: Об – обрушення (обвали); О – опливання; Оп – оповзання; Ос – осипання; Пр – просідання території; Пт – підтоплення.

Природна складова території кар'єру визначається основними силами та обмеженнями природного середовища, тобто природними факторами впливу на небезпечні фізико-геологічні процеси: С1 – фізико-механічні властивості гірничих порід; С2 – геологічна будова шару гірничих порід; С3 – тектонічні порушення; С4 – кут падіння покладу порід; С5 – глибина розробки; С6 – потужність покладу; С7 – хімічний склад поверхневих вод; С8 – режим поверхневого стоку; С9 – робота поверхневих вод; С10 – умови фільтрації; С11 – рівень ґрунтових вод та капілярного їх підняття; С12 – хімічний склад ґрунтових вод; С13 – порушеність товщі порід; С14 – крутизна схилу; С15 – характер ґрунтово-рослинного покриву.

Таким чином природну складову становить інженерно-геологічна система з геологічною, гідрогеологічною та геоморфологічною підсистемами, а також гідрологічна та геоботанічна системи. Всі ці системи визначають основні сили та обмеження природного середовища в умовах виникнення, розвитку та активіза-

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

ції різноманітних небезпечних фізико-геологічних процесів на територіях відкритих гірничих розробок.

Антропогенні (включно і залежні від них метеорологічні) фактори впливу становлять: Ф1 – відкачування підземних вод, регулювання стоку та захисні гідротехнічні споруди; Ф2 – динамічне навантаження від кар'єрного транспорту; Ф3 – вертикальне планування території; Ф4 – зрошення та осушення прилеглих територій; Ф5 – масові вибухові роботи; Ф6 – завищення висоти уступів; Ф7 – завищення кутів відкосів; Ф8 – площа відкритих гірничих розробок; Ф9 – заглиблення кар'єру; Ф10 – знищення рослинного покриву прилеглих територій; Ф11 – кількість та інтенсивність атмосферних опадів.

Перелік зазначених проявів та впливів сформовано для умов кар'єру Полтавського гірничо-збагачувального комбінату на основі загальнотеоретичних уявлень та аналізу результатів багаторічних обстежень, виконаних спеціалізованими організаціями цього кар'єру.

Таким чином, модель стану кар'єру в загальному вигляді включає 990 зв'язків, оскільки вона повинна відобразити шість проявів, які виникають під дією 15-и природних та 11-и антропогенних факторів.

Складності формування і використання такої моделі очевидні, а спрощення потребує визначення малозначущих впливів, котрими доцільно знехтувати. Методологія МАІ дозволяє здійснити такий відсів через попарне, окремо для кожного ієрархічного рівня, експертне порівняння значимості факторів.

В якості експертів залучено провідних фахівців Полтавського ГЗК та Кременчуцького національного університету. Порівняння впливу кожного з пари факторів нижчого рівня на певний фактор вищого рівня оцінювався експертами за 9-и бальною шкалою від «однаково» до «значно більшого». Оцінка таких попарних порівнянь свідчить про сприйнятливую узгодженість позиції експертів, оскільки коефіцієнти конкордації [6] перевищували їх нормативні величини.

При цьому ряд зв'язків між факторами експертами визначено як несуттєвий і вони виключені з подальшого розгляду (рис. 1).

Зазначений вище перелік факторів впливів та проявів їх дії, з позицій МАІ, сформований у чотирирівневу ієрархічну систему, де:

- першим рівнем буде територія кар'єру, на якій проявляються і розвиваються фізико-геологічні процеси та явища;
- другий рівень становлять зазначені вище інженерно-геологічні процеси;
- третій рівень формують природні фактори впливу, що викликають прояв процесів;

- четвертий рівень включає антропогенні фактори, корегування та обмеження значень яких визначається проектом землекористування території кар'єру.

Пріоритети впливу факторів нижнього рівня ієрархії на кожен з факторів верхнього рівня, визначені відповідним розрахунком з матриць парних порівнянь, наведено у табл. 1–3.

Правомірність отриманих власних локальних пріоритетів підтверджується на кожному рівні відношенням узгодженості (ВУ) попарних порівнянь суджень експертів (табл. 4), допустима величина якого не повинна перевищувати 0,1 [6].

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

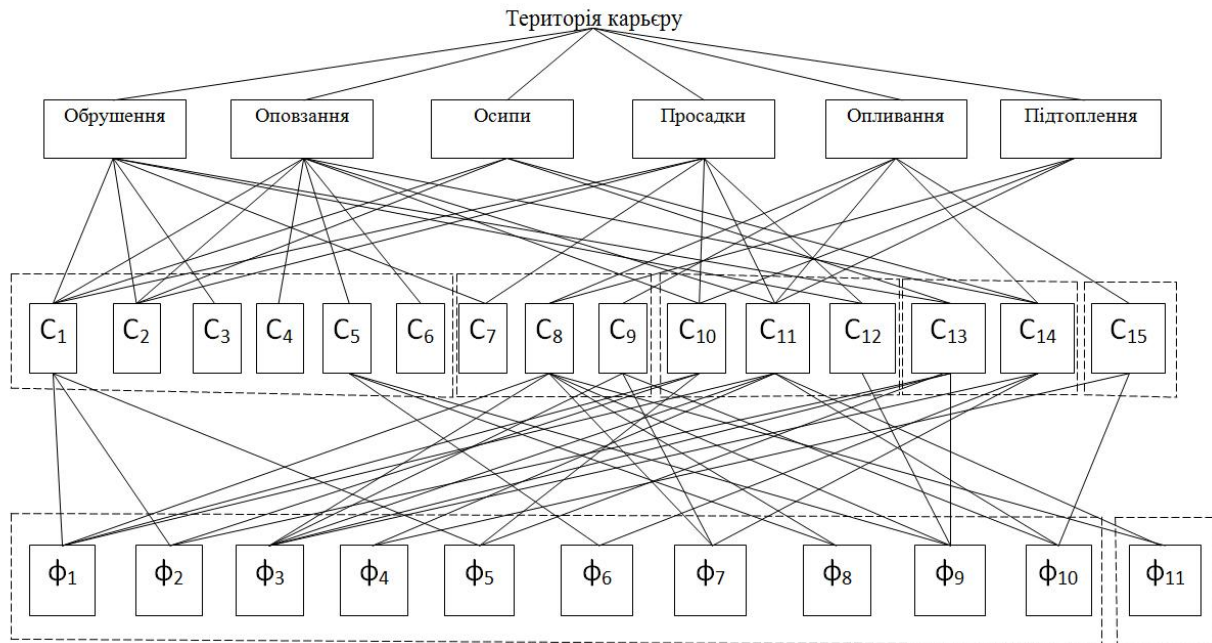


Рисунок 1 – Схема ієрархії небезпечних фізико-геологічних процесів на території відкритих гірничих розробок

Таблиця 1 – Власний вектор локальних пріоритетів факторів II-го рівня

I-й рівень ієрархії	Значення локальних пріоритетів впливу факторів II-го рівня					
	Об	О	Ос	Пр	Оп	Пт
Кар'єр	0,17	0,03	0,28	0,03	0,09	0,40

Таблиця 2 – Власний вектор локальних пріоритетів факторів III-го рівня

Фактори III рівня	Значення локальних пріоритетів впливу на фактори II-го рівня					
	Об	О	Ос	Пр	Оп	Пт
C ₁	0,40	0,20	0,26	0,40	0,08	0,00
C ₂	0,25	0,16	0,29	0,28	0,00	0,00
C ₃	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₄	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₅	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₆	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₇	0,03	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00
C ₈	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,11
C ₉	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00
C ₁₀	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,26
C ₁₁	0,00	0,02	0,00	0,15	0,26	0,63
C ₁₂	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
C ₁₃	0,16	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00
C ₁₄	0,00	0,31	0,33	0,00	0,05	0,00
C ₁₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Σ	1	1	1	1	1	1

**ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ
І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

Таблиця 3 – Власний вектор локальних пріоритетів факторів ІУ-го рівня

ІУ-й рівень	Значення локальних пріоритетів впливу на фактори ІІІ-го рівня														
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅
Φ ₁	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,30	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Φ ₂	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
Φ ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,59	0,00	0,41	0,00	0,05	0,63	0,00
Φ ₄	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,19
Φ ₅	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00
Φ ₆	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00
Φ ₇	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
Φ ₈	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φ ₉	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	1,00	0,56	0,00	0,00
Φ ₁₀	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,81
Φ ₁₁	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблиця 4 – Відношення узгодженості експертних оцінок

Рівні	Пріоритети	N	λ _{max}	ІУ	ВУ
І	ТК	6	6,110	0,02	0,02
ІІ	Об	6	6,234	0,05	0,04
	О	7	7,285	0,07	0,07
	Ос	4	4,119	0,04	0,04
	Пр	6	6,042	0,01	0,01
	Оп	6	6,227	0,05	0,03
	Пт	3	3,039	0,02	0,03
ІІІ	C ₁	3	3,004	0,00	0,00
	C ₅	3	3,039	0,02	0,03
	C ₈	6	6,243	0,05	0,04
	C ₉	3	3,014	0,01	0,01
	C ₁₀	3	3,106	0,05	0,09
	C ₁₁	5	5,060	0,02	0,01
	C ₁₂	1	1	0,00	0,00
	C ₁₃	4	4,164	0,05	0,06
	C ₁₄	3	3,039	0,02	0,03
	C ₁₅	2	2	0,00	0,00

Оскільки отримані результати ВУ відповідають зазначеній вимозі, власні локальні пріоритети визнаються однорідними, що свідчить про сприйнятливую непротиворічність оцінок експертів та обумовлює коректність подальшого їх використання у розрахунках глобальних пріоритетів впливу природних і антропогенних факторів на територію кар'єру.

Глобальний пріоритет системи, що має m рівнів ієрархії, формується для оцінки впливу факторів певного $n \leq m$ рівня ієрархії на бажані характеристики її вищого $n - k$ рівня при умові, що $n - k \geq 1$, а значення $k \geq 2$. Очевидно, що зазначені умови справедливі лише при дослідженні систем, які мають не менше ніж три ієрархічних рівня.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Стосовно чотирирівневої ($m=4$) системи ієрархії впливів на прояв небезпечних фізико-геологічних процесів землекористування відкритого кар'єру Полтавського ГЗК, обчислення глобальних пріоритетів виконано для природних ($n=3$, $k=2$) та антропогенних ($n=4$, $k=3$) факторів і у табл. 5 наведені лише ті фактори, глобальний пріоритет яких перевищує 0,05, сумарний пріоритет неврахованих факторів III рівня становить 0,04 і 4-х факторів IV рівня – 0,05.

Таблиця 5 – Глобальні пріоритети на першому рівні ієрархії

Фактори	Фізичний зміст факторів	Значення пріоритетів
III рівень ієрархії		
C_1	Фізико-механічні властивості гірничих порід	0,18
C_2	Геологічна будова шару гірничих порід	0,15
C_8	Режим поверхневого стоку	0,06
C_{10}	Умови фільтрації	0,11
C_{11}	Рівень ґрунтових вод та капілярного підняття	0,29
C_{13}	Порушеність товщі порід	0,06
C_{14}	Крутизна схилу	0,11
IV рівень ієрархії		
Φ_1	Регулювання стоку та відкачування підземних вод	0,21
Φ_3	Вертикальне планування території	0,29
Φ_5	Масові вибухи	0,16
Φ_9	Заглиблення кар'єру	0,06
Φ_{10}	Знищення рослинного покриву	0,06
Φ_{11}	Кількість атмосферних опадів	0,12

Аналізуючи результати обчислень, можна зробити висновок що на території відкритих гірничих розробок найбільшого розвитку набув небезпечний фізико-геологічний процес підтоплення. Цей елемент має найбільший пріоритет (0,40). Внаслідок того що гірничі породи мають тріщинуватість (внаслідок їх механічного руйнування) виникають такі процеси як осипання (0,28) та обрушення (0,17). При підтопленні території відбувається заводнення ділянок, внаслідок чого сипучі породи вимиваються водою, тобто утворюються опливини (0,09). Незначно на територію відкритих гірничих розробок впливають оповзання (0,03) та просідання (0,03).

Матриця власних векторів локальних пріоритетів для третього рівня дає змогу розглянути залежність небезпечних фізико-геологічних процесів від природних факторів.

Відносно підтоплення найбільший пріоритет має такий природний фактор, як рівень ґрунтових вод (0,63). Також підтоплення тісно пов'язане з умовами фільтрації (0,26) та режимом поверхневого стоку (0,11).

На процес осипання впливають крутизна схилу (0,33), геологічна будова товщі гірничих порід (0,29) та фізико-механічні властивості гірничих порід (0,26). Переважну більшість покладу гірничих порід становить суцільний масив, але на

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТТІ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

деяких ділянках трапляються порушення товщі порід, при розкритті якої гірничими роботами порода осипається до основи відкосу. Таке порушення товщі порід провокує виникнення осипання, його пріоритет становить 0,12.

Обрушення характеризується швидким зміщенням масиву гірничої породи по поверхні ковзання. Цей процес дещо схожий з процесом осипання, тому найбільш впливовими факторами являються фізико-механічні властивості гірничих порід (0,40) та геологічна будова товщі гірничих порід (0,25). Також на розвиток обрушення, як і у випадку осипання, впливає порушення товщі порід (0,16) та в разі обрушення великих масивів породи - тектонічні порушення (0,10). Під дією солоних ґрунтових вод відбувається руйнування легкорозчинних порід (глин, амфіболітів, кори вивітрювання) з подальшим обрушенням їх частин. Цей процес характерний для верхніх горизонтів кар'єру де переважають слабкі породи [4]. Хімічний склад поверхневих вод та хімічний склад ґрунтових вод незначно впливають на процес обрушення - 0,03 та 0,06 відповідно.

Опливини – потік насичених водою порід порушеної структури. Частіше всього опливини виникають в зв'язку з виносом піщаних часток потоком. Тому найбільшого значення набули пріоритети робота поверхневих вод (0,43) та рівень ґрунтових вод (0,26). Також значимими умовами утворення опливин є режим поверхневого стоку (0,15) та фізико-механічні властивості гірничих порід (0,08). В деяких випадках опливини починають виникати на ділянках з порушеним рослинним покривом та з крутим ухилом. Оскільки породи на поверхні являють собою суглинок або пісок (який був зв'язаний коріннями рослин) то після знищення рослинного покриву при зволоженні починається опливання цих порід. Ці фактори мають наступні значення пріоритетів: крутизна схилу (0,05), характер ґрунтово-рослинного покриву (0,03).

Просідання – вертикальне опускання ділянок земної поверхні. Процес просідання найбільше залежить від фізико-механічних властивостей ґрунтів - 0,40. Ці характеристики залежать від багатьох факторів і встановлюються експериментально. При виникненні просідань важливі такі природні фактори, як геологічна будова товщі гірничих порід (0,28), рівень ґрунтових вод (0,15), хімічний склад ґрунтових вод (0,05). Під дією поверхневих вод виникає руйнування водонепроникних або слабопроникних гірничих порід, тому хімічний склад поверхневих вод набув значення 0,09. Під час проникнення ґрунтових вод в товщу порід відбувається їх ущільнення або вимивання дрібних часток порід що мають високу пористість (суглинків, лесів), тому на процес просідання дещо впливають умови фільтрації (0,03).

Оповзання – повільне зміщення порід по похилій поверхні. Оповзання частіше всього розвивається на крутих схилах за умови міцної основи з нашаруванням пластичних порід зверху. Виходячи з умов утворення оповзнів, найбільшого пріоритету набули крутизна схилу (0,31), фізико-механічні властивості гірничих порід (0,20) та геологічна будова товщі гірничих порід (0,16). Ризик виникнення оповзання з'являється також зі збільшенням глибини розробки (0,15), величини потужності покладу (0,09), при наявності кута падіння покладу порід (0,05). В деяких випадках оповзання пов'язане з заводненням майданчиків уступів або при додатковому зволоженні рихлих порід. Але розвиток цих процесів майже не

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

спостерігається, що підтверджується відповідними пріоритетами: умови фільтрації (0,02), рівень ґрунтових вод (0,02).

Матриця власних векторів локальних пріоритетів для четвертого рівня визначає вплив антропогенних та метеорологічних факторів на основні сили та обмеження природного середовища.

На фізико-механічні властивості гірничих порід на території гірничих розробок найбільше впливає регулювання стоку та відкачування підземних вод (0,65). Також значною мірою на фізико-механічні властивості гірничих порід впливають масові вибухи в кар'єрі (0,23), внаслідок яких руйнуються кристалічні породи (які складають основну частину гірських порід). Також завдає значного впливу динамічне навантаження від технологічного транспорту (0,12).

Зі збільшенням таких факторів як заглиблення кар'єру (0,63) та завищення висоти уступу (0,11) збільшується глибина розробки території відкритих гірничих розробок. При заглибленні розробки також важливим фактором є площа під відкриті гірничі роботи (0,26), оскільки заглиблення кар'єру завжди пов'язано з роздвиганням його бортів (а отже і збільшення площі).

Режим поверхневого стоку визначає вертикальне планування (0,41), завищення кута відкосу (0,27). Значною мірою впливає на поверхневий стік заглиблення кар'єру (0,15).

Робота поверхневих вод залежить від вертикального планування (0,59), оскільки при невдалому плануванні посилюється вплив поверхневих вод на гірничі породи, особливо на слабкі породи верхніх горизонтів. При завищенні кута відкосу (0,33) підсилюється розмив пористих порід (в особливості глин та суглинків). Стримуючим фактором для роботи поверхневих вод є рослинний покрив, при зниженні якого втрачається надійний зв'язок верхніх шарів породи. Знищення рослинного покриву має відносно низький пріоритет - 0,08. Це пов'язано з тим, що знищення рослинного покриву є першим етапом на початку гірничих робіт, і більшість територій під відкритими гірничими розробками вже не мають природного рослинного покриву.

На умови фільтрації в межах відкритих гірничих розробок впливають масові вибухи в кар'єрі (0,64), під впливом яких кристалічні породи стають тріщинуватими. В подальшому через ці тріщини відбувається проникнення поверхневих вод вглиб масиву порід. Регулювання стоку та відкачування підземних вод (0,30) запобігають проникненню вод на нижні горизонти кар'єру, та в межі відкритої гірничої розробки.

На рівень ґрунтових вод впливає вертикальне планування території (0,41), кількість атмосферних опадів з врахуванням їх втрат (0,28). Внаслідок знищення рослинного покриву (0,16) частина поверхневих вод без перешкод проникає крізь шар порід, поповнюючи існуючі верхні водоносні горизонти. Також на рівень ґрунтових вод впливають осушення прилеглих територій (0,10) та відкачування підземних вод, регулювання стоку та захисні гідротехнічні споруди (0,05).

Зі збільшенням глибини кар'єру частина поверхневих вод, що потрапляє на нижні горизонти, проходить багато шарів різного типу забруднення та хімічного складу. При досягненні нижніх горизонтів ця вода акумулює в собі різного типу

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

домішки що підвищує їх хімічну агресивність. При розкриті гірничими роботами цих водоносних горизонтів їх води починають забруднюватися водами, що потрапляють з верхніх горизонтів, та іншими забрудниками (залишками паливно-мастильних матеріалів, продуктами розпаду вибухівки, емульсіями що використовують при бурових роботах, тощо) [4]. Тому заглиблення кар'єру має найвищий пріоритет – 1,00.

При проведенні гірничих робіт порушується суцільність товщі порід, що складають родовище. Тому на порушеність товщі порід впливають найбільш сильно заглиблення кар'єру (0,56) та масові вибухи (0,27).

На крутість схилу у межах відкритих гірничих розробок впливають вертикальне планування (0,63), завищення кута відкосу (0,11) та завищення висоти уступу (0,26).

Характер ґрунтово-рослинного покриву, на ділянках відкритих гірничих робіт, залежить від процесу знищення рослинного покриву (0,81) та осушення прилеглих територій (0,19).

На основі аналізу глобальних пріоритетів факторів третього рівня ієрархії можна зробити висновок, що найнебезпечнішим фізико-геологічним процесом на сформованих землекористуваннях є підтоплення території. Розвиток процесу підтоплення супроводжується погіршенням фізико-механічних властивостей ґрунтів, активізацією процесів руйнування гірничих порід, вимивання часток слабких порід з утворенням опливин. Також з розвитком підтоплення ускладнюється ведення гірничих робіт, оскільки гірничі породи являються слабо водопроникними, тому вода збирається на нижніх горизонтах кар'єрів.

Аналіз глобальних пріоритетів показав, що на розвиток такого небезпечного фізико-геологічного процесу, як підтоплення найбільше впливає гідрогеологічна система, а саме рівень ґрунтових вод (0,27), умови фільтрації (0,10), режим поверхневого стоку (0,06). На розвиток процесів обрушення, оповзання, осипання значно впливають фізико-механічні властивості гірничих порід (0,16), геологічна будова шару гірничих порід (0,13), крутизна схилу (0,10). При оцінці небезпечних фізико-геологічних процесів на територіях відкритих гірничих розробок варто також звернути увагу на порушеність товщі порід (0,06), роботу поверхневих вод (0,04), тектонічні порушення (0,02).

Антропогенна та метеорологічна системи впливають на розвиток небезпечних фізико-геологічних процесів на території відкритих гірничих розробок через стабільність природного середовища.

Кількісно оцінивши причини розвитку або виникнення цих процесів у межах території відкритих гірничих розробок, можна зробити висновок, що найвагомішими факторами, які впливають на зміну стану природного середовища, є:

- вертикальне планування;
- відкачування підземних вод, регулювання стоку та захисні ГТС;
- масові вибухи в кар'єрі;
- заглиблення кар'єру;
- знищення рослинного покриву.
- кількість атмосферних опадів.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Оптимізована модель ієрархії небезпечних фізико-геологічних процесів на територіях відкритих гірничих розробок матиме значно спрощений вигляд (рис. 2), завдяки її орієнтації на виявлення найбільш впливових факторів та встановлення обґрунтованого контролю за їх поточними значеннями.

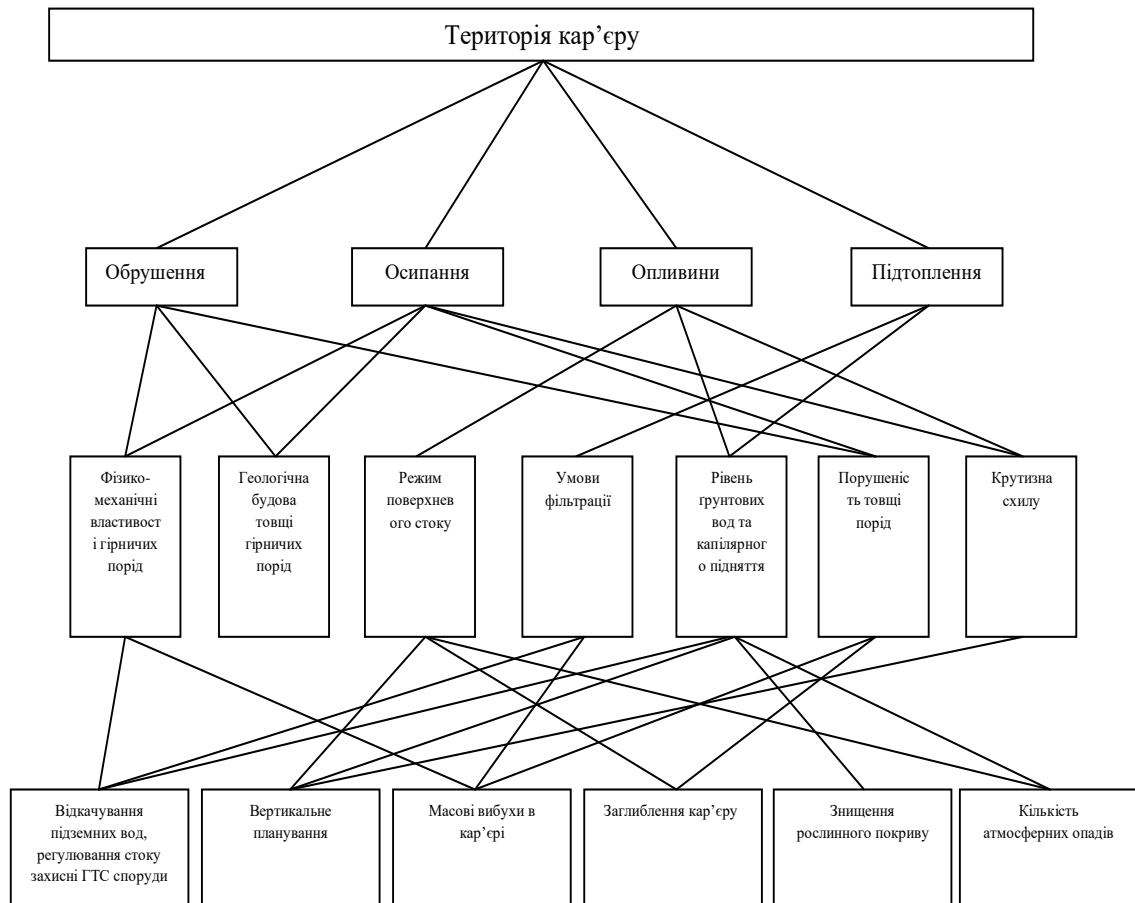


Рисунок 2 – Оптимізована модель ієрархії небезпечних фізико-геологічних процесів

ВИСНОВКИ. Вперше застосовано метод аналізу ієрархій для оцінки небезпечних фізико-геологічних факторів на територіях відкритих гірничих розробок.

МАІ є ефективним методом моделювання слабо структурованих природних ієрархічних систем за умов нечіткої їх визначеності. Він дає змогу розв'язувати багатофакторні задачі оцінювання компонентів систем, встановлювати їх ваги і визначити вплив цих елементів на об'єкт прогнозування.

На основі проведених досліджень і побудованої ієрархічної моделі небезпечних фізико-геологічних процесів на територіях відкритих гірничих розробок детально оцінено вплив антропогенної та метеорологічної систем на стабільність природного середовища урбанізованих територій. Виявлено фактори, які найбільше впливають на формування небезпечних фізико-геологічних ситуацій у межах відкритих гірничих розробок.

Отримана оптимізаційна модель небезпечних фізико-геологічних процесів при відкритих гірничих розробках суттєво спрощує контроль за зміною рівня їх стійкості. На основі отриманих даних запроваджуються необхідні інженерні за-

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

ходи для зменшення негативного впливу факторів, що мають найбільші пріоритети. При цьому виявляються причини можливого виникнення того чи іншого небезпечного процесу на вже сформованих територіях землекористувань і запровадити заходи щодо їх ліквідації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989, 278 с.
2. Черняга П., Бухальська Т., Люсак А. Оптимізаційна модель врахування небезпечних фізико-геологічних процесів при формуванні землекористувань міста: *Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК*. Вип. 1(17), 2009. С. 278–288.
3. Артамонов В. В., Василенко М. Г., Назімков М. М. Априорне ранжування факторів впливу на фізико-геологічні процеси при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2014. Вип. 1(84). С. 169–176.
4. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработка мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.:ВНИМИ, 1971.
5. Оглобин Д. Н., Бастан П. П., Герасименко Г. Н. Маркшейдерское дело: изд.2, перераб. и доп., «Недра», 1981.
6. Отчёт о выполненной работе по теме «Разработка системы осушения действующего карьера ОАО Полтавский ГОК»; УР ООО «Новотек-2», 2010.
7. Ржевский В. В., Новик Я. Г. Основы физики горных пород, - 3-е изд., перераб. И доп. М.: Недра, 1978.

OPTIMIZATION MODEL OF ACCOUNTING DANGEROUS PHYSICAL-GEOLOGICAL PROCESSES AT OPENCAST MINING

V. Artamonov, M. Vasilenko, V. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: gzk@kdu.edu.ua

Purpose. Evaluation the impact of numerous natural and anthropogenic factors on the manifestation of dangerous physical and geological processes in opencast mining, the method of hierarchy analysis (MHA), which is recognized as effective for modeling poorly structured hierarchical systems under uncertainty, was proposed to be used. **Methodology.** Improvement of the methodology of MHA using, which allows to solve multifactor problems of evaluating system components, to determine their weight and to determine the impact of these elements on the object of forecasting. **Results.** For the first time, a method of hierarchy analysis was applied to estimate hazardous physical and geological factors in open-cast mining areas. Method of hierarchy analysis (MHA) is an effective method of modeling poorly structured natural hierarchical systems under conditions of fuzzy definition. It allows to solve multifactor problems of evaluating system components, to determine their weight, and to deter-

mine the impact of these elements on the object of prediction. The influence of anthropogenic and meteorological systems on the environmental stability of urban areas has been evaluated in detail based on the researches conducted and the hierarchical model of hazardous physico-geological processes in the opencast mining territories developed. The factors that most influence the formation of dangerous physico-geological situations within the open-cast mining have been identified. The obtained optimization model of dangerous physical-geological processes in open-cast mining significantly simplifies the control over the change in their level of stability. Based on the data obtained, necessary engineering measures are implemented to reduce the negative impact of the highest priority factors. At the same time, the causes of a possible dangerous process occurring in the already formed territories of land uses are identified and measures are taken to eliminate them. **Originality.** For the first time, it is advisable to implement a method of hierarchy analysis, which is successfully used to solve a wide range of complex fuzzy problems. **Practical value.** The data obtained optimize the implementation of the engineering measures necessary to reduce the negative impact of the factors that are most dangerous.. References 7, figures 2, tables 5.

Key words: careers, danger, uncertainty, optimization, factors.

REFERENCES

1. Saati, T. (1989), *Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij: Per. s angl. M.: Radio i svyaz* [Decision Making. Method of hierarchy analysis: Trans. with English], Radio and communication, Moscow, Russia.
2. Chernyaga, P., Buhalska, T., Lusak, A. (2009) "An optimization model for taking into account dangerous physical and geological processes in the formation of city land use", *Zbirnik naukovih prac Zahidnogo geodezichnogo tovaristva UTGK*, Issue I(17), pp. 278–288.
3. Artamonov, V. V., Vasilenko, M. G., Nazimkov, M. M. (2014), "Priority ranking of factors of influence on physical and geological processes in the development of mineral deposits in an open way", *Vysnyk Kremenchuckogo nacionalnogo universitetu imeni Mykhaila Ostrohradskogo*, Issue 1(84), pp. 169–176.
4. Instruction on the observation of deformations of the sides, slopes, ledges and dumps on the quarries and the development of measures to ensure their stability-cleanliness.
5. Oglobin, D. N., Bastan, P. P., Gerasimenko, G. N. (1972), *Markshejderskoe delo*, [Mine Surveying], Nedra, Moscow, Russia.
6. Report on the work performed on the topic "*Development of the drainage system of the existing quarry of OAO Poltava GOK*"; UR LLC Novotec-2, 2010.
7. Rzhovsky, V. V., Novik, Ya. G. (1978), *Osnovy fiziki gornyh porod*, [Basics of rock physics], Nedra, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 09.12.2019.