

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ РИЗИКІВ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК**¹Слащов І.М., ¹Слащова О.А., ¹Осінній В.Я., ¹Сапунова І.О., ¹Константинова І.Б.**¹*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України***ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ РИСКОВ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК****¹Слащев И.Н., ¹Слащева Е.А. ¹Осенний В.Я., ¹Сапунова И.А.,
¹Константинова И.Б.**¹*Інститут геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины***IDENTIFICATION OF RISK FACTORS OF MINE WORKINGS STABILITY LOSS****¹Slashchov I.M., ¹Slashchova O.A., ¹Osinniy V.Ya., ¹Sapunova I.O.,
¹Konstantynova I.B.**¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine*

Анотація. Руйнування породного масиву під час ведення гірничих робіт призводить до втрати стійкості гірничих виробок, впливає на безпеку і травмування працівників. Для вирішення проблеми зниження ризиків втрати стійкості гірничих виробок, насамперед, потрібна оцінка напружено-деформованого стану та руйнування в часі породного масиву з обов'язковим урахуванням найважливіших особливостей його структури, фізико-механічних властивостей та багатьох інших параметрів. Виявлення цих параметрів потребує ідентифікації домінуючих факторів, що впливають на ризики руйнування породного масиву та втрати стійкості гірничих виробок. Ціль роботи полягає в обґрунтуванні і систематизації домінуючих факторів, які утворюють ризики в системі «породний масив-гірничий виробок» під час функціонування гірничих підприємств.

Систематизовані домінуючі гірничо-геологічні і гірничотехнічні групи факторів, що мають причинно-наслідкові зв'язки з активізацією геомеханічних процесів і впливають на ризики втрати стійкості систем підтримання гірничих виробок. Визначені вихідні умови і параметри ідентифікації для різних груп домінуючих гірничо-геологічних факторів ризиків: низької природної міцності гірських порід, тектонічних порушень і тріщинуватості гірських порід, концентрації максимальних напружень, надлишкових газових тисків, обводнення породних масивів. Обґрунтовані домінуючі групи ризиків (і наслідки), що пов'язані з активізацією геомеханічних процесів: збільшення зон непружних деформацій (віджимання порід, зростання навантажень на кріплення і активізація розшарувань порід); активізація газодинамічних процесів (виділення газу в виробки, раптові висипання, викиди та інші наслідки); поширення магістральних тріщин (різке зниження стійкості та раптові зрушення порід покрівлі і підшви штреків, раптові обвалення, динамічні навантаження на кріплення, прориви підземних вод); зростання концентрації напружень (руйнування порід і кріплення); активізація зміщень гірських порід (раптові опускання покрівлі та підняття підшви гірничих виробок, деформації кріплення); руйнування систем кріплення (травмування персоналу, порушення режимів провітрювання, загазування гірничих виробок). Для ідентифікації ризиків втрати стійкості гірничих виробок від впливу фактора обводнення породного масиву встановлені залежності, які визначають зниження параметрів міцності, зміни коефіцієнтів варіації та ризики від зниження міцності гірських порід при зміні їх водонасиченості. Це дозволяє визначати ризики виникнення небезпечних станів породного масиву при різних глибинах залягання, рівнях водонасиченості порід та мінімальних параметрах міцності порід в сухому і обводненому станах. Своєчасна ідентифікація факторів, що впливають на ризики втрати стійкості гірничих виробок, підвищує безпеку робіт в процесі функціонування гірничих підприємств.

Ключові слова: фактори ризику, стійкість гірничих виробок, геомеханічні процеси, безпека праці.

Руйнування порушеного гірничими роботами породного масиву створює умови для ризиків втрати стійкості виробок шахт, впливає на геомеханічну безпеку і травмування працівників. Геомеханічна безпека може трактуватися як захищеність працівників, природно-технічних систем і об'єктів гірничих підприємств від ризиків, які виникають внаслідок руйнування породного масиву під впливом гірничих робіт.

В контексті геомеханічної безпеки можна досліджувати різні процеси, які тісно пов'язані з веденням гірничих робіт і руйнуваннями породного масиву: вертикальні і горизонтальні зрушення поверхні, викиди вугілля та газу, зміни режимів і забруднення водоносних горизонтів та ін.

Проблеми зниження ризиків втрати стійкості систем підтримання гірничих виробок та розробки ефективних методів контролю стану гірських порід до цього часу ще не вирішені. Для вирішення даної проблеми, насамперед, потрібна якісна і кількісна попередня оцінка напружено-деформованого стану породного масиву з обов'язковим урахуванням найважливіших особливостей його структури, фізико-механічних властивостей та багатьох інших параметрів. Виявлення цих параметрів потребує обґрунтування і систематизації домінуючих факторів, які утворюють ризики руйнування породного масиву та втрати стійкості гірничих виробок під час функціонування гірничих підприємств. Це часто не дозволяє прийняти правильні рішення з безпеки гірничих робіт.

До основних ризиків, що впливають на безпеку гірничих підприємств слід віднести: втрату стійкості покрівлі, боків і подошви гірничих виробок; раптові обвалення покрівлі; раптові підняття подошви; газодинамічні прояви гірського тиску [1-3]. Гірничо-геологічні фактори, часто не керовані та складно піддаються контролю, це: глибина розробки, параметри вихідного поля напружень, літологічний склад та шаруватість порід, кути падіння шарів порід, тектонічні порушення, потужність і структури залягання шарів, властивості пружності та міцності порід, анізотропія властивостей міцності, обводненість і газонасиченість вугільних пластів і порід, ступень вихідної тектонічної тріщинуватості та структурної порушеності та ін. З гірничотехнічних чинників слід виділити: площі перетинів вироблених просторів і гірничих виробок, що утворилися під час видобутку вугілля; способи керування покрівлею в очисних вибоях; кроки обвалення безпосереднього та вторинного осідання основної покрівлі; розташування розвантажувальних і сполучених виробок; силових і деформаційних характеристик систем кріплення і охорони гірничих виробок (рис. 1). Гірничотехнічні фактори, що впливають на руйнування гірських порід, в більшості випадків керовані, їх можна завчасно урахувати і запобігти негативним проявам гірського тиску шляхом застосування обґрунтованих технологій виробництва або превентивними діями персоналу.

Одним з домінуючих факторів, який впливає на ризики втрати стійкості гірничих виробок є низька природна міцність гірських порід. Слабкі гірські породи, здебільшого аргіліти і алевроліти, під впливом гірничих робіт часто розміцнюються. Очевидно, що у формуванні руйнувань гірських порід переважають непружні деформації, які залежать від параметрів міцності. Межа міцності порід на одноосьовий стиск змінюється в широкому діапазоні, наприклад міцність піщаників 18-212 МПа, піщаних сланців 15-182 МПа та глинистих сланців 8-98 МПа, а за іншими даними 34-110, 28-62 і 18-40 МПа, відповідно [4, 5]. Для ідентифікації ризиків втрати стійкості гірничих виробок шахт доцільно використовувати середні показники властивостей міцності

порід, бо розкид даних при проведенні випробувань на міцність досягає значень 30 % і більше, а вплив вихідної тріщинуватості або взагалі не враховується, або враховується опосередковано. При цьому необхідно враховувати глибину та гірничо-геологічні умови залягання порід, стадію їхнього метаморфізму, а саме головне – коефіцієнт варіації визначення того або іншого параметра, що характеризує середній розкид даних [5, 6]. Коефіцієнт варіації можна врахувати методикою, що передбачає визначення ризиків при максимально несприятливих параметрах.

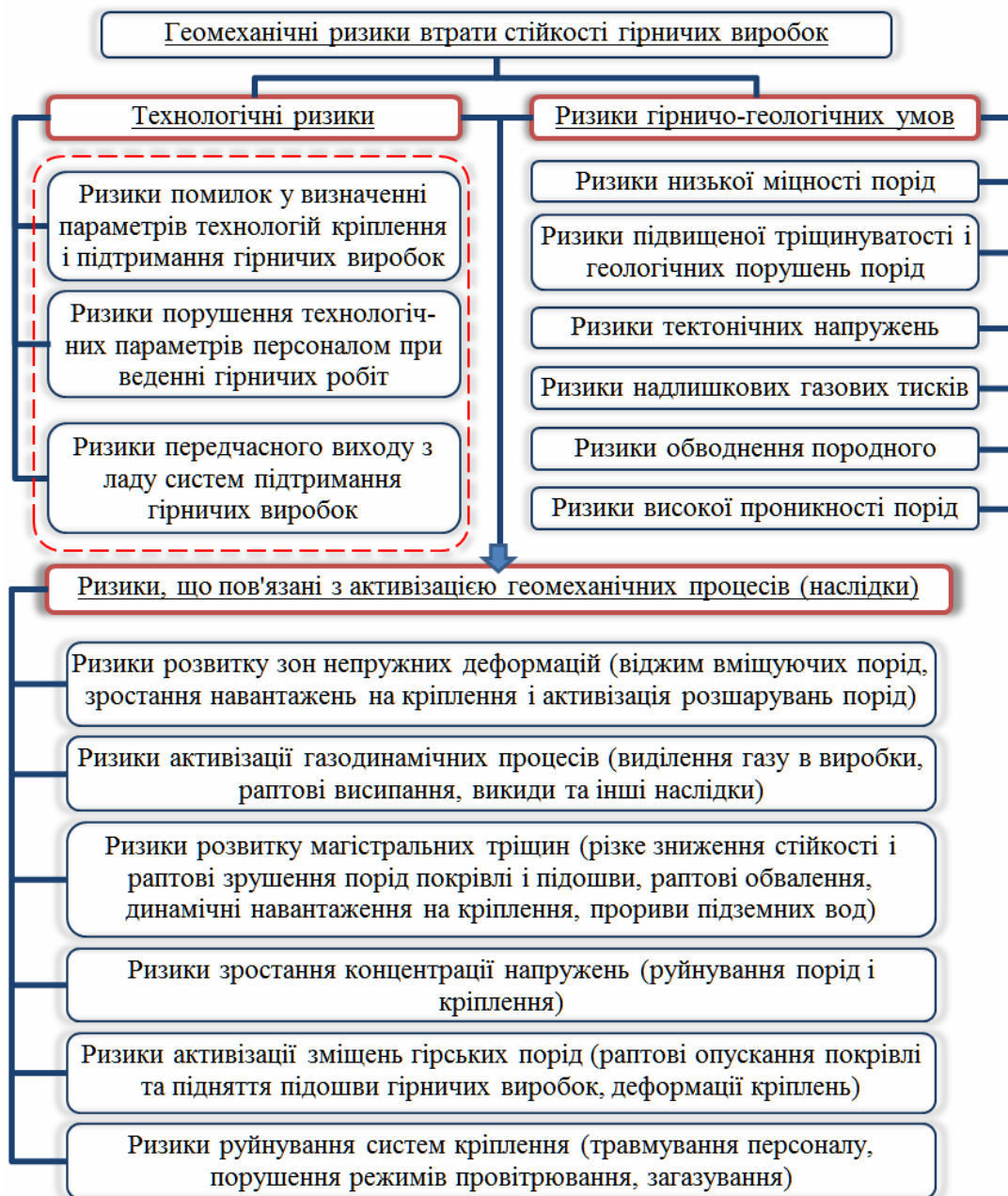


Рисунок 1 – Систематизація груп факторів, що пов'язані з геомеханічними процесами і впливають на ризики втрати стійкості систем підтримання гірничих виробок (пунктиром виділені позиції, де домінуючим фактором ризиків виступає людський фактор)

Тектонічні порушення і тріщинуватість гірських порід суттєво змінюють напружено-деформований стан та проникність породного масиву (його

здатність фільтрувати рідини та газу). Це призводить до активізації геомеханічних і газодинамічних процесів, виникнення ризиків травматизму від раптових обвалень і вивалів порід, гірських ударів, вибухів газу і пилу (47% від загального числа постраждалих [7]).

Гірничі роботи призводять до перерозподілу напрямів і величини векторів головних і дотичних напружень і, як наслідок, поширення додаткових систем техногенних тріщин. Слід виділити один з ключових моментів, що впливає на ризики руйнування масиву порід і полягає в тому, що системи тріщин з однаковим або близьким орієнтуванням розвиваються з найбільшою інтенсивністю і організовуються в магістральні тріщини. Ці тріщини найчастіше є причиною аномальних явищ, що проявляються у вигляді ряду негативних подій: зниження стійкості і різких зрушень порід покрівлі і підшви; збільшення віджиму вугілля і порід; розшарувань приконтурної частини масиву; раптових обвалень; динамічних навантажень на кріплення та інших. Більшість проявів гірського тиску супроводжуються виділенням газу в виробки. При цьому, з точки зору впливу на руйнування масиву і його газовиділення, основними параметрами тріщинуватості є кількість і напрямки домінуючих тріщин. Наприклад, найбільш небезпечне орієнтування тріщин паралельно оголенню поверхні виробки. Не менше значення має напрямок падіння тріщин щодо направлення штреку. Разом з тим, знаючи орієнтації в геопросторі систем ендегенних, тектонічних і експлуатаційних тріщин [8, 9] можна технічними засобами збільшити опірність породного масиву до довільних деформацій і управляти навантаженнями на кріплення виробок.

Вихідні умови для ризиків активізації газодинамічних процесів навколо виробок в процесі ведення гірничих робіт представляються у вигляді двох основних груп. Перша група факторів визначається наявністю і параметрами джерел газовиділення, які можуть бути представлені, наприклад, як плоскі і кільцеві контури живлення [8, 10]. Друга група чинників визначається проникністю гірських порід на шляху фільтрації газів у виробки і різницею тисків між відповідними контурами живлення досліджуваних інтервалів та галереями стоків на границях зон розвантаження (оголень лав, відпрацьованих просторів і підготовчих виробок). Проникність порід у тріщинуватих породах на шляхах фільтрації (наприклад, на 1-20 м від зон скидання за даними геофізичних досліджень Є. Руднева) як мінімум на два порядки більше, ніж в незайманому не тріщинуватому масиві.

Ідентифікація тріщинуватості гірських порід може бути проведена шляхом визначення просторових і часових варіацій есхаляції продуктів розпаду радону в гірничі виробки [8, 11]. Це пов'язано з тим, що при рівних умовах об'ємного стиснення проникність гірських порід і дифузійна здатність повітря, метану і радону є ключовими інформативними параметрами, за якими можна методами моніторингу гірничих виробок визначати ступінь тріщинуватості породного масиву в зонах непружних деформацій.

Збільшення ризиків втрати стійкості гірничих виробок на великих глибинах може бути викликано проявами тектонічних напружень, які часто є одним з

основних факторів, що суттєво активізують руйнування гірських порід. Широка поширеність явища перевищення горизонтальних напружень у масиві над вертикальними (часто багаторазово) на шахтах у породах осадового типу доведена безпосередніми вимірами, проведеними в гірничих виробках. Генезис тектонічних напружень зв'язаний з проявами горизонтального стиску блоків земної кори і з їхніми вертикальними підняттями при формуванні складчастості та рельєфу поверхні. Вперше на актуальність врахування цього чинника була звернена увага ще на другому конгресі по інженерній геології (International Congress Engineering Geological. Madrid, Spain, 1978), де розглядалися методичні і практичні аспекти даної проблеми.

Слід зазначити, що врахування закономірностей тектонічних полів напружень часто дозволяє добитися підвищення точності прогнозування напружено-деформованого стану порід і розташування в геопросторі газових колекторів. У практичному аспекті важливими є саме кількісні і якісні параметри вихідних полів напружень. У першу чергу до них слід віднести: вектор тектонічного поля напружень, який визначає напрямок дії і величину максимальних головних тектонічних напружень; щільність тектонічної порушеності, яка відбиває сумарну частоту тектонічних порушень, що доводиться на одиницю площі; градієнт тектонічної активності, тобто швидкість тектонічних рухів у гірському масиві за одиницю часу. Треба відзначити набагато меншу однорідність і більшу складність геодинамічного поля напружень, на відміну від гравітаційного, що пов'язане з нерівномірним розподілом у просторі швидкості тектонічних рухів і швидкості деформацій осадової товщі. Його параметри можуть значно змінюватися як у просторі, так і в часі. Мінливі, зокрема, орієнтування осей головних напружень і їх абсолютні значення.

Експериментальними дослідженнями методом локального гідророзриву [12, 13] доведено, що тектонічні напруження найчастіше горизонтальні, у зонах їх дії різко міняються умови гірського тиску. В переважній більшості, траєкторії дії головних тектонічних складових непостійні, а відхилення гравітаційної складової від вертикалі не перевищує 15 градусів. Наприклад, у формуванні природнього поля напружень масиву гірських порід Горлівської антикліналі переважають дві компоненти тензора напружень – максимальні головні напруження спрямовані в горизонтальній площині та в 1,2-4,9 разів перевищують вертикальні. Тобто фактор впливу тектонічних напружень, якщо він присутній, також буде одним з домінуючих при оцінці ризику втрати стійкості виробок.

У гранично напружених породах фактор впливу надлишкових газових тисків на відшарування великих об'ємів порід покрівлі тягне за собою ризики втрати стійкості і загазування гірничих виробок. Вплив на породний масив газового тиску досліджували, в основному, з погляду дегазації вуглепородних шарів при роботі шахт, зміни проникності гірських порід і оцінки умов формування викидів вугілля, порід і газу. Разом з тим, прогноз напружено-деформованого стану породного масиву при спільній дії сил гірського та

газового тисків в умовах його високої газонасиченості досліджується досить рідко і має, безсумнівно, більше питань, чим відповідей. Зокрема, недостатньо відпрацьовані коректні методи прогнозу стану газонасиченого масиву та відсутні адекватні комп'ютерні технології їх реалізації.

Разом з тим, вплив фактора надлишкових газових тисків на напружено-деформований стан породного масиву суттєво зростає при руйнуванні газонасиченого масиву. Це зв'язане із частковим обмеженням або неможливістю виходу газу на поверхню і зростанням газових тисків у шарах порід, а також з появою можливості дренажу газу по техногенним магістральним тріщинам у підземні тріщинно-порові колектори і зниження газових тисків у локальних зонах масиву. В результаті на породний масив діють додаткові навантаження від сил надлишкового тиску газу, що мають, найчастіше, зональний характер, який обумовлений розташуванням у просторі шарів газонасичених порід і ступенем їх руйнування під впливом гірничих робіт.

Спільна дія гірського і газового тисків у структурно-неоднорідному породному масиві має вплив на ризики розвитку тріщин у зонах непружних деформацій. Це пов'язане з тим, що, по-перше, газ виступає як поверхнево-активне середовище, тому при визначенні значень меж міцності на стиск і розтягання слід враховувати вплив газу на властивості порід, які в зонах непружних деформацій можуть знижуватися до 30 %. По-друге, при розвантаженні від гірського тиску міцність порід знижується більш інтенсивно, ніж тиск газу, який, залежно від фільтраційної здатності масиву, може зберігатися на досить високому рівні.

Більш детально слід зупинитися на чиннику обводнення породних масивів, як на одному з основних факторів ризику, що негативно впливає на багато процесів при веденні гірничих робіт. Існує дві основні причини збільшення вологості порід в підшві і покрівлі виробок. Перша причина полягає в тому, що відпрацювання вугільних пластів порушує водоносні горизонти, в результаті чого водні потоки спрямовуються по системам техногенних тріщин в гірничі виробки, відбувається водонасичення і суттєве зниження міцності гірських порід. Техногенні системи тріщин поширюються навколо вироблених просторів при непружному деформуванні гірських порід. Друга причина, обводнення гірських порід відбувається при попаданні води в виробки внаслідок проведення технологічних процесів, що вимагають використання технічних рідин в досить великих обсягах (буріння свердловин, тампонування, бетонування, протипилові зрошення та ін.).

При обводненні ризики руйнування гірських порід навколо виробок збільшуються, виникають зони непружних деформацій, зруйнованих і розпушених порід. Це підтверджується багаточисленними спостереженнями, якими встановлено, що в умовах обводнених глинистих порід стійкість гірничих виробок істотно знижується. Наприклад дослідження [14] в 535 штреку пласта С₅ шахти «Самарська» показали, що в боках виробки спостерігалися виділення води та розмокання порід. В результаті у верхніх

кутах штреку розвивалися поздовжні протяжні тріщини (рис. 2, а). Водонасичена покрівля виробки відшаровувалась і місцями обвалювалась (рис. 2, б). Тому виникають ризики вивалів і раптових обвалень покрівлі та інтенсивних підняття підшви гірничих виробок. Гідрогеологічні процеси також є факторами ризиків затоплення та некерованого інтенсивного деформування підготовчих виробок, що тягне за собою значні економічні витрати.

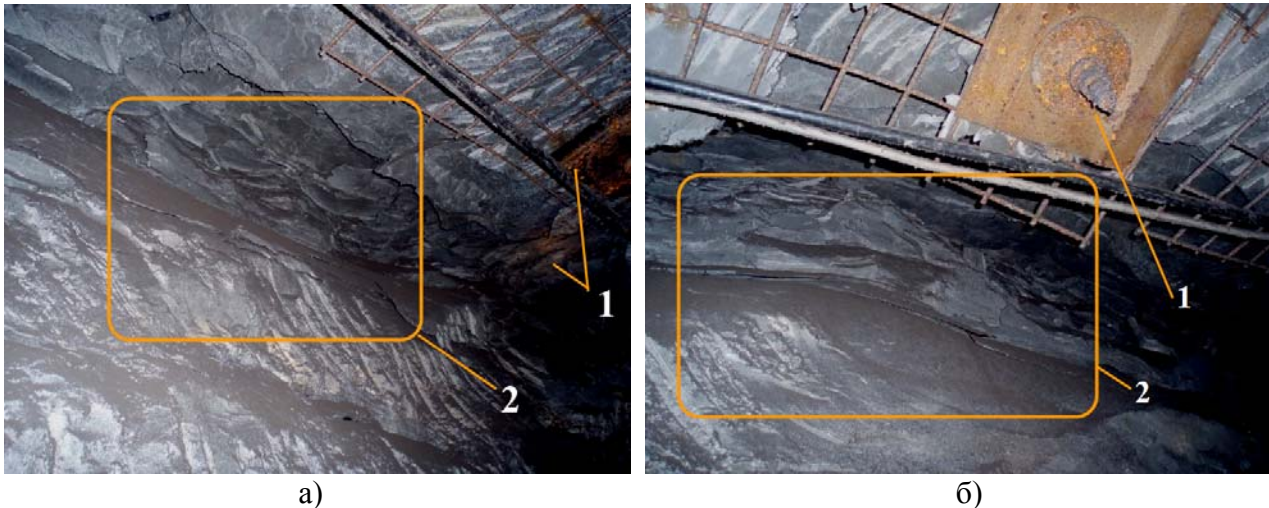


Рисунок 2 – Вплив фактора водонасичення на виникнення ризиків руйнування верхніх кутів (а) і вивалів порід виробки (б) в штреку пласта С₅ шахти «Самарська»: 1 – система анкерного кріплення; 2 – небезпечні зони поздовжнього відриву і розшарувань порід

Для керування факторами ризиків, що впливають на втрату стійкості виробок в умовах гірничих виробництв та призводять до травмування або загибелі персоналу, слід використовувати методи, які базуються на статистично значущій кількості параметрів або визначених закономірностях поведінки породного масиву [15, 16]. Потенційний ризик $R(E^t)$ виникнення аварійної ситуації визначають для кожного з елементів геотехнічної системи, де повний ризик являє собою суму індивідуальних ризиків окремих значень домінуючих інформативних параметрів в момент часу t :

$$R(E^t) = k_1^t R(E_1^t) + k_2^t R(E_2^t) + k_3^t R(E_3^t) + \dots + k_m^t R(E_m^t), \quad (1)$$

де $R(E_m^t)$ – ризики від окремого класу факторів, що визначені за значенням інформативних параметрів в момент часу t для групи з m факторів, відн. од .; $k_1^t, k_2^t, \dots, k_m^t$ – нормалізовані коефіцієнти впливу на потенційний ризик окремих факторів в групі.

З метою ідентифікації ризиків, що виникають внаслідок впливу фактора обводнення масиву гірських порід на їх міцність, а, відповідно, і на стійкість гірничих виробок, систематизовані лабораторні дослідження понад трьох тисяч зразків аргілітів, алевролітів, пісковиків і вапняків (використані фактичні дані з визначення фізико-механічних властивостей гірських порід, що отримані в результаті досліджень ІГТМ НАН України та геологорозвідувальних випробувань свердловин на шахтах). Для визначення межі міцності на

стиснення у водонасиченому стані використовувався стандарт [17], згідно з яким, зразки укладали в посудину з водою та витримували протягом не менше 48 годин, після чого їх випробовували на пресі.

В більшості експериментів зразки витримувалися 10-20 діб для можливості як можна більшого наповнення пор і тріщин водою та коректного визначення впливу водонасиченості на міцність порід. Такий підхід в більшій мірі відповідає ідентифікації впливу фактора обводнення на ризики втрати стійкості масиву порід і виробок внаслідок того, що в даному випадку нас більше цікавлять не абсолютні значення вологості порід, а відносні параметри рівнів водонасиченості. Абсолютні параметри вологості залежать від багатьох мікрофізичних особливостей гірських порід, здатності вбирати воду, різних можливостей витіснення газів з порово-тріщинного простору та інших. Відносні показники в більшій мірі підходять для практичного застосування внаслідок того, що всі водовбираючі властивості гірських порід враховуються комплексно шляхом застосування коефіцієнта рівня водонасиченості ($k_w = 0 \dots 100 \%$, рис. 3).

Рівень водонасичення порід приймався рівним нулю для зразків в сухому стані і дорівнювався 100 % для зразків порід з максимально-можливим водонасиченням, яке досягалося в умовах лабораторних експериментів або в реальному масиві порід. Показники відносного зниження міцності гірських порід для ідентифікації ризиків, що виникають внаслідок впливу фактора їх обводнення визначалися за формулою:

$$\Delta\sigma_e^{*w} = 100 \sigma_e^{*w} / \sigma_e^* , \% , \quad (2)$$

де σ_e^* , σ_e^{*w} – межі міцності на стиснення у сухому і водонасиченому стані, Па.

Лінійні регресійні моделі зниження міцності гірських порід при вологонасиченні від рівня водонасичення порід (Табл. 1) визначають вихідні умови для ідентифікації стійкості обводненого породного масиву та створення ризик-орієнтованих технологій підтримання гірничих виробок шахт. Середньоквадратичне відхилення не перевищує 22 %.

Багато зразків за 20 діб практично повністю втрачають здатність чинити опір стисненню. Тому урахування залишкової опірності зразків порід, які повністю руйнувалися під впливом води в лабораторних експериментах але, звісно, зберігають залишкову міцність в умовах об'ємного стиснення в масиві гірських порід, проводилось зниженням міцності до залишкової міцності порід в масиві.

Збільшення вмісту глинистої фракції сприяє не тільки зменшенню міцності при обводненні порід, а й збільшенню розкиду параметрів міцності (збільшенню коефіцієнта варіації). Встановлено, що коефіцієнти варіації міцності порід залежать від їх насичення водою (рис. 4). При водонасиченні породи мають більший розкид середніх значень коефіцієнтів варіації, ніж в сухому стані. Для аргілітів і алевролітів зміна цього показника становить ~ 48-58%, для пісковиків і вапняків ~ 44-52%. Тобто при водонасиченні

простежується збільшення до 60% розкиду міцності порід від розкиду міцності порід в сухому стані. Значення коефіцієнтів варіації дозволяють досліджувати ризики виникнення небезпечних станів масиву порід при критичних параметрах (мінімальних міцностях) в сухому і насиченому стані.

Можна відзначити, що близько 70% відібраних проб гірських порід, в лабораторних випробуваннях показали слабкий запас міцності при водонасиченні [5, 6, 17]. Тому розмокання бічних порід є однією з головних небезпек, наприклад в гірничих виробках шахт Західного Донбасу, де відбувається швидка втрата міцносних властивостей покрівлі і підшви.

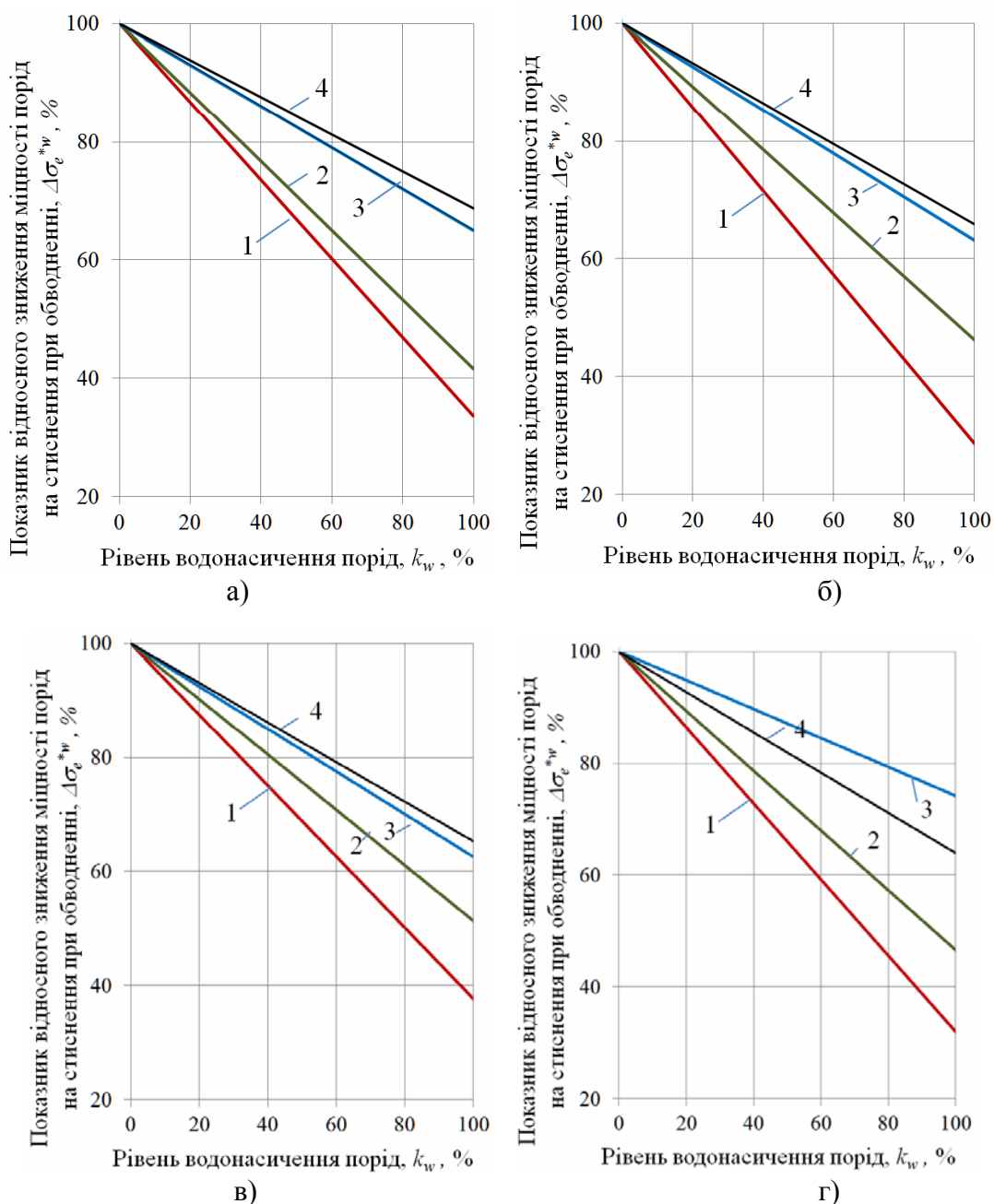


Рисунок 3 – Показники відносного зниження міцності гірських порід для ідентифікації ризиків, що виникають внаслідок впливу фактора обводнення: а, б, в, г – для глибин розробки 400-600 м, 600-800 м, 800-1000 м і 1000-1200 м, відповідно; 1 (●), 2 (▲), 3 (◆), 4 (■) – регресійні моделі для аргілітів, алевролітів, пісковиків і вапняків, відповідно

Таблиця 1 – Лінійні регресійні моделі для визначення ризиків, що виникають внаслідок впливу фактора обводнення гірських порід

Глибина, м	Залежності, що визначають показники відносного зниження міцності на стиснення водонасичених гірських порід, $\Delta\sigma_{cm}$, %		
	Порода	Модель	Середньоквадратичне відхилення, %
400-600	Аргіліти	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,66 k_W$	9
	Алевроліти	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,58 k_W$	16
	Пісковики	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,35 k_W$	19
	Вапняки	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,31 k_W$	17
600-800	Аргіліти	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,71 k_W$	3
	Алевроліти	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,54 k_W$	15
	Пісковики	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,37 k_W$	15
	Вапняки	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,34 k_W$	16
800-1000	Аргіліти	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,62 k_W$	12
	Алевроліти	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,49 k_W$	21
	Пісковики	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,38 k_W$	15
	Вапняки	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,35 k_W$	19
1000-1200	Аргіліти	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,68 k_W$	3
	Алевроліти	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,53 k_W$	14
	Пісковики	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,26 k_W$	16
	Вапняки	$\Delta\sigma_{cm}=100-0,36 k_W$	16

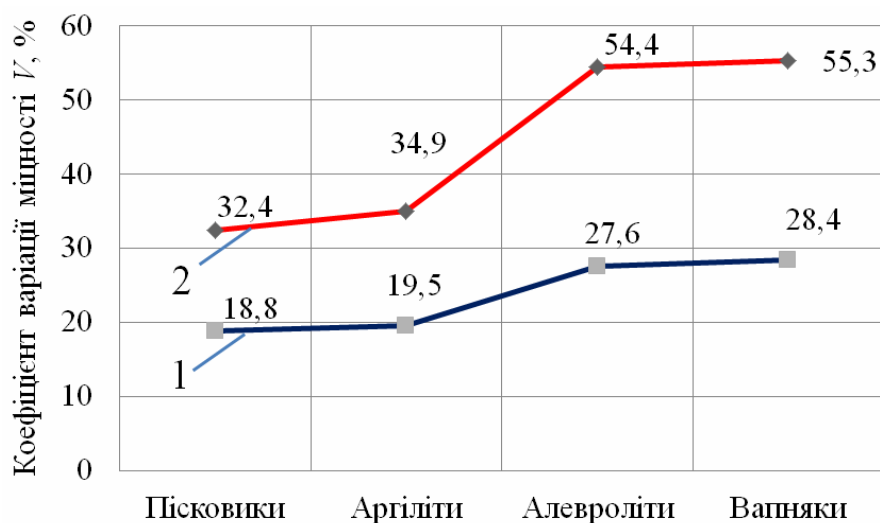


Рисунок 4 – Зміни варіації міцності порід на стиснення в залежності від їх водонасиченості: 1 (■) – в сухому стані; 2 (◆) – у водонасиченому стані

Фільтрація води призводить до ризиків обводнення і втрати стійкості гірничих виробок. Ризики підвищуються, коли зона обвалення над лавою з'єднується із зоною підвищеної тріщинуватості вивітрених порід. Середні коефіцієнти фільтрації водоносних горизонтів кам'яновугільних відкладів мають значний розкид, які до глибини 100 м змінюються від сотих до 15,9 м/доб, в інтервалі глибин 100-700 м – 0,03-0,001 м/доб, до глибини 1500 м

– 0,0007-0,143 м/доб [18]. Фільтрація води між водоносними горизонтами та виробленими просторами характеризується переважним рухом у вертикальному напрямку та за простяганням шарів. В результаті ведення гірничих робіт відбувається значна зміна проникності масиву порід внаслідок розвитку тріщин і, отже, створенню нових провідників води в гірському масиві. Поверхні водопровідних тріщин розмокають, втрачають зчеплення один з одним, що нерідко призводить до взаємного проковзування окремих блоків і утворенню вивалів. В той же час розмокання порід покрівлі гірничих виробок може супроводжуватися протіканнями та проривами води. Тобто для ідентифікації ризиків втрати стійкості гірничих виробок від впливу фактора обводнення необхідно враховувати не тільки зміни фізико-механічних властивостей гірських порід під впливом водонасичення, але і фільтрацію між водоносними горизонтами та виробленими просторами в процесі проведення гірничих робіт.

Таким чином, систематизовані і визначені домінуючі групи факторів ризиків, що пов'язані з геомеханічними процесами в породному масиві і впливають на ризики втрати стійкості систем підтримання гірничих виробок. З використанням кількісного методу, що базується на статистично значущій кількості параметрів, визначені параметри зниження міцності гірських порід та залежності зміни ризиків, що виникають внаслідок обводнення породного масиву. Це дозволяє визначати ризики виникнення небезпечних станів породного масиву при різних глибинах залягання, рівнях водонасиченості порід та критичних (мінімальних) параметрах міцності в сухому і обводненому станах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Иконников М.Ю. и др. Математическое моделирование в задачах оценки эффективности и безопасности горных работ. Днепропетровск: НГУ, 2015. 215 с.
2. Булат А.Ф., Слащев И.Н., Яланский Алекс.А., Слащев А.И. Обоснование методов и алгоритмов оценки геомеханической безопасности ведения горных работ // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН України, 2017. № 135. С. 16-31.
3. Слащев, И.Н. Применение информационных технологий для повышения эффективности и безопасности горных работ // Уголь Украины. 2013. № 2. С. 40-43.
4. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. Киев: Наукова думка, 1979. 135 с
5. O. Slashchova. Water effect on the rocks and mine roadways stability. E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice, 109 (2019).
6. Слащева Е.А., Слащев И.Н., Яланский А.А. Особенности решения геомеханических задач для условий обводненного газонасыщенного массива горных пород // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН України, 2014. №. 115. С. 232-244.
7. Information and analytical material on the state of occupational safety and industrial safety at the enterprises of the coal industry. (2018). available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish>.
8. Slashchov I.M., Shevchenko V.G, Kurinnyi V.P., Slashchova O.A., and Yalanskyi O.A. Forecast of potentially dangerous rock pressure manifestations in the mine roadways by using information technology and radiometric control methods // Mining of Mineral Deposits, 2019, 13(4), 9-17.
9. Булат, А.Ф., Слащев, И.Н., Слащева, Е.А. Комплексование методов оценки геомеханических и газодинамических процессов в породном массиве для систем контроля производственной среды шахт // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН України, 2017. № 134. С. 3-21.
10. Slashchov I.M. Estimation of fracture systems parameters in rock massif by the finite element method. E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice, 109 (2019).
11. Slashchov I.M. (2019) Features of geomechanical and radiometric safety control of working medium in the mines // Sciences of Europe. 37(1). 47-53.

12. Кулинич В.С. и др. Результаты комплексной оценки геомеханического состояния угленосного массива в зоне дегазации пласта I₁ шахты им. А.Ф.Засядько // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ, 2002. № 37. С. 97-104.

13. Князев М.В., Притыскач В.П., Слащев И.Н. Поддержание горных выработок с учетом напряжений в массиве пород / Теория и практика комплексного освоения месторождений полезных ископаемых и обогащения минерального сырья. М.: ИПКОН РАН, 1992. С. 65-67.

14. Слащев И.Н. Шахтные исследования устойчивости систем поддержания штреков в условиях легкообрушаемых пород Западного Донбасса // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ, 2012. № 97. С. 177-185.

15. V. Shevchenko, A. Slashchov. Justification of the basic algorithms of the mine safety information system. E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice, 109 (2019).

16. O. Slashchova, I. Slashchov, I. Sapunova. Specific solution of problem of water filtering in the rocks by the finite element method. E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice, 109 (2019).

17. ГОСТ 30629-99 Межгосударственный стандарт «Материалы и изделия облицовочные из горных пород методы испытаний». Госстрой Украины. Дата введения 2001-01-01.

18. Білокопитова Н.А., Синах В.Ю., Токар М.В., Подвігіна О.О. Особливості моделювання гідрогеологічних умов Донбасу // Збірник наукових праць УкрДГРІ. Київ, 2003. № 2. С. 59-62.

REFERENCES

1. Ikonnikov, M.Yu., Ikonnikov, Yu.R., Slashcheva, Ye.A., Slashchov, I.N. and Yalanskiy, A.A. (2015), *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh otsenki effektivnosti i bezopasnosti gornyykh rabot* [Mathematical modeling in solving problems of evaluating the efficacy and safety of mining operations], Natsionalnyy gornyy universitet and IGTM NAS of Ukraine, Dnipropetrovsk, UA.

2. Bulat, A.F., Slashchov, I.N., Yalanskiy Aleks.A. and Slashchov A.I. (2017), "Validation of methods and algorithms for estimating geomechanical safety of mining operations", *Geo-Technical Mechanics*, no. 135, pp. 16-31.

3. Slashchov, I.M. (2013), "The use of information technology to increase the efficiency and safety of mining operations", *Coal of Ukraine*, no. 2, pp. 40-43.

4. Usachenko, B.M.(1979), *Svoystva porod i ustoychivost gornyykh vyrabotok* [Rock properties and stability of mine workings], Nauk. dumka, Kiev, UA.

5. Slashchova O.A. (2019), "Water effect on the rocks and mine roadways stability", *E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice*, no. 109.

6. Slashchova, O.A., Slashchov, I.N. and Yalanskiy, A.A. (2014), "Features solutions for problems of geomechanical watery gas-saturated rock massif", *Geo-Technical Mechanics*, no. 115, pp. 232-244.

7. Information and analytical material on the state of occupational safety and industrial safety at the enterprises of the coal industry. (2018). available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish>.

8. Slashchov I.M., Shevchenko V.G, Kurinnyi V.P., Slashchova O.A., and Yalanskiy O.A. (2019), "Forecast of potentially dangerous rock pressure manifestations in the mine roadways by using information technology and radiometric control methods", *Mining of Mineral Deposits*, no. 13(4), pp. 9-17.

9. Bulat, A.F., Slashchov, I.N. and Slashchova O.A. (2017), "Evaluation methods of interconnected geomechanical and gas dynamic processes in the rock massif for the systems of working medium control in the mines", *Geo-Technical Mechanics*, no. 134, pp. 3-21.

10. Slashchov I.M. (2019), "Estimation of fracture systems parameters in rock massif by the finite element method", *E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice*, no. 109.

11. Slashchov I.M. (2019), "Features of geomechanical and radiometric safety control of working medium in the mines", *Sciences of Europe*. no. 37(1), pp. 47-53.

12. Kulinich V.S. et al. (2002), "Rezultaty kompleksnoy otsenki geomekhanicheskogo sostoyaniya ugleporodneogo massiva v zone degazatsii plasta I₁ shakhty im. A.F.Zasyadko", *Geo-Technical Mechanics*, no. 37, pp. 97-104.

13. Knyazev M.V., Prityskach V.P. and Slashchov I.M. (1992), "Maintenance of the mine workings taking into account tensions in the array of rocks", *Teoriya i praktika kompleksnogo osvoyeniya mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh i obogashcheniya mineralnogo syr'ya* [Theory and practice of integrated development of mineral deposits and mineral processing], Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, RU, pp. 65-67.

14. Slashchov, I.N. (2012), "Mine research of the stability of drift support systems in the conditions of easily broken rocks of the Western Donbass", *Geo-Technical Mechanics*, no. 97, pp. 177-185.

15. V. Shevchenko and A. Slashchov (2019), "Justification of the basic algorithms of the mine safety information system", *E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice*, no. 109.

16. O. Slashchova, I. Slashchov and I. Sapunova (2019), "Specific solution of problem of water filtering in the rocks by the finite element method", *E3S Web of Conferences, International Conference Essays of Mining Science and Practice*, no. 109.

17. Gosstroy of Ukraine (2001), *GOST 30629-99 Interstate Standard. Materialy i izdeliya oblitsovochnyye iz gornyykh porod metody ispytaniy* [GOST 30629-99 Interstate Standard. Materials and Products for Testing Facing from Rocks], Gosstroy of Ukraine, Kiev, UA.

18. Bilokopytova N.A., Synakh V.YU., Tokar M.V. and Podvihina O.O. (2003), "Osoblyvosti modelyuvannya hidrogeologichnykh umov Donbasu", *Zbirnyk naukovykh prats UkrDHR*, no. 2, pp. 59-62.

Про авторів

Слащов Ігор Миколайович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, IMSlashchov@nas.gov.ua

Слащова Олена Анатоліївна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна OASlashchova@nas.gov.ua

Осінній Валентин Якович, магістр, науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна osenniyyva@gmail.com

Сапунова Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна gtn.igtm@gmail.com

Константинова Ірина Борисівна, магістр, провідний інженер відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, irakon2001@gmail.com

About the authors

Slashchov Ihor Mykolayovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, IMSlashchov@nas.gov.ua

Slashchova Olena Anatoliyivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, OASlashchova@nas.gov.ua

Osinniy Valentyn Yakovych, M.Sc., Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine (IGTM, NAS OF UKRAINE), Dnepr, Ukraine, osenniyyva@gmail.com

Sapunova Iryna Oleksandrivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine (IGTM, NAS Of Ukraine), Dnepr, Ukraine, gtn.igtm@gmail.com

Konstantynova Iryna Borysivna, Master of Science, Lead Engineer in the Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, irakon2001@gmail.com

Аннотация. Разрушение породного массива приводит к потере устойчивости горных выработок, влияет на безопасность и травмирование работников. Для решения проблемы снижения рисков потери устойчивости горных выработок, прежде всего, нужна оценка напряженно-деформированного состояния и разрушения во времени породного массива с обязательным учетом важнейших особенностей его структуры и физико-механических свойств и многих других параметров. Выявление этих параметров требует идентификации доминирующих факторов, влияющих на риски разрушения породного массива и потери устойчивости горных выработок. Цель работы заключается в обосновании и систематизации факторов, которые образуют риски в системе «породный массив-горная выработка» во время функционирования горных предприятий.

Систематизированы доминирующие горно-геологические и горнотехнические группы факторов, которые имеют причинно-следственные связи с активизацией геомеханических процессов и влияют на риски потери устойчивости систем поддержания горных выработок. Определены исходные условия и параметры идентификации для различных групп доминирующих горно-геологических факторов рисков: низкой природной прочности горных пород, тектонических нарушений и трещиноватости горных пород, концентрации максимальных напряжений, избыточных газовых давлений, обводнения породных массивов. Обоснованы доминирующие группы рисков (и последствия), которые связаны с активизацией геомеханических процессов: увеличение зон неупругих деформаций (отжим пород, рост нагрузок на крепь и активизация расслоений пород); активизация газодинамических процессов (выделение газа в выработки, внезапные высypания, выбросы и другие последствия); распространение магистральных трещин (резкое снижение устойчивости и внезапные сдвиги пород кровли и почвы, внезапные обрушения, динамические нагрузки на крепи, прорывы подземных вод); рост концентрации напряжений (разрушение пород и крепей); активизация смещений горных пород (внезапные опускания кровли и поднятия почвы горных выработок, деформации крепей); разрушение систем крепления (травмирование персонала, нарушение режимов проветривания, загазованность горных выработок). Для идентификации рисков потери устойчивости горных выработок от влияния фактора обводнения породного массива установлены зависимости, определяющие снижение параметров прочности, изменения коэффициентов вариации и риски от снижения прочности горных пород при изменении их водонасыщенности. Это позволяет определять риски возникновения опасных состояний породного массива при различных глубинах залегания, уровнях водонасыщенности пород и минимальных параметрах прочности пород в сухом и обводненном

состояниях. Своевременная идентификация факторов, влияющих на риски потери устойчивости горных выработок, повышает безопасность работ в процессе функционирования горных предприятий.

Ключевые слова: факторы риска, устойчивость горных выработок, геомеханические процессы, безопасность труда.

Annotation. Destruction of the rock massif during mining operations leads to loss of the mine-working stability and affects safety and traumatism of workers. In order to solve the problem of reducing the risks of mine-working stability loss, first of all, we need to assess stress-strain state and time destruction of the rock massif with taking into account the most important peculiarities of its structure and physical-mechanical properties. This, in turn, requires identification of the dominant factors affecting the risks of the rock massif destruction and loss of mine-working stability. The purpose of this work was to substantiate and systematize the dominant factors that create different risks for the system "rock massif – mine working" during the work of mining enterprises.

The dominant geological, mining and engineering groups of factors, which featured causal relationships with activation of geomechanical processes and affected the risks of stability loss in the mine support systems, were systematized. Initial conditions and identification parameters were determined for various groups of dominant geological risk factors: low natural strength of rocks, tectonic disturbances and fracturing of rocks, concentration of maximum stresses, excessive gas pressures, flooding of rock masses. The dominant risk groups (and consequences), which were associated with activation of geomechanical processes, were substantiated: expansion of zones with inelastic deformations (rock slip, grown loads on supports and activation of rock stratification); activation of gas-dynamic processes (gas emission into the mine workings, sudden outpouring or outbursts and other consequences); propagation of main cracks (a dramatic decrease in stability and sudden displacements of roof and floor in the mine roadways, sudden caving, dynamic loads on supports, inrush of groundwater); increase of stress concentration (destruction of rocks and supports); activations of rock displacements (sudden roof subsidence and floor swelling in the mine workings, deformation of supports); destruction of supporting systems (personal injury, disturbances of ventilation modes, gas contamination of mine workings). In order to identify risks of the mine-working stability loss under the effect of factor of rock mass flooding, dependencies were established, which determined decrease of strength parameters, changes in variation coefficients and the risks caused by decreased strength of the flooded rocks. This allows determining risks of dangerous conditions occurrence in the rock massif at different depths and water saturation levels and at minimum rock strength parameters in dry and flooded conditions. Timely identification of the factors affecting the risks of mine-working stability loss improves safety of work during the operation of mining enterprises.

Keywords: risk factors, mine workings stability, geomechanical processes, labor safety.

Стаття надійшла до редакції 18.11. 2019

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук С.А. Курносовим