

ВПЛИВ ТЕКТОНІЧНИХ СИЛ НА ФОРМУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРІД РОДОВИЩ БЛОЧНОГО ОБЛИЦЮВАЛЬНОГО КАМЕНЮ

Наведено аналіз складових сил, що формують напружено-деформований стан масиву блочного каменю. Проаналізовано існуючі теорії формування механічних напруг у земній корі. Визначено основні чинники, що викликають горизонтальні напруження в поверхневій частині родовищ блочного облицювального каменю.

Вступ. Оскільки значну роль у процесі видобування блочного облицювального каменю відіграє напружений стан порід масиву, то необхідною умовою ефективної роботи кар'єру є визначення параметрів та характеру розподілу полів напружень у масиві. Відповідно до сучасних положень геомеханіки на масив порід діють такі сили: гравітаційні, тектонічні та гідродинамічні, сили фільтруючого потоку рідини або газів.

В адаптації до родовищ блочного облицювального каменю, що має відносно малі значення тріщинуватості масиву, його можна розглядати таким, на який сили гідродинамічного тиску не діють, гравітаційні сили на невеликій глибині залягання поклада є незначними, а тектонічні є домінуючими.

Технологія видобування блочного облицювального каменю являє собою процес послідовних технологічних операцій, що полягають у безпосередньому механічному впливі на масив засобами направленою руйнування порід, що і викликають зміну природних полів напружень масиву.

При видобуванні блочного облицювального каменю враховують напрямок анізотропії, який збігається з напрямком основної системи тріщин, враховують також гірничо-геологічні умови залягання поклада. Але масив блочного облицювального каменю, як геологічна формація володіє крім фізико-механічних, гірничотехнічних властивостей також і напруженим рівноважним станом гірських порід, без врахування якого неможливе ефективне видобування облицювальних порід. Такими силами, що не враховуються при видобуванні та здатними у більшості випадків впливати на ефективність процесу видобування та якість готової продукції є тектонічні сили в масиві. Вони діють у горизонтальному напрямі та не є пропорційними до літостатичного тиску.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявність тектонічних сил спостерігали та вивчали в різні часи такі вчені як: Д.М. Казінаєв [4], Г.А. Марков [3], Н.П. Влох [6], П.А. Богданов [7] та В.В. Єгоров [8]. Явища тектонічних напружень у цих дослідженнях відносяться до кристалічних порід майже всіх залізородних басейнів. Спільною особливістю проведених досліджень є те, що тектонічна складова напружень не виявлялася окремо, а вимірювалася у сукупності сил та факторів природного та штучного характеру.

Метою статті є дослідження причин виникнення горизонтальних напруг стискання на поверхні родовищ кристалічних порід та їх вплив на технологію видобування.

Викладення основного матеріалу. Напружений стан гірських порід враховується виключно з позиції стійкості уступів та бортів кар'єрів, а також стійкості підземних гірничих виробок. Однак питання напружено-деформованого стану гірських порід включає і процеси пов'язані з видобуванням блоків каменю. Перерозподіл природних напружень у масиві блочного каменю та концентрація їх у певних зонах має негативний характер для технології видобування. У більшості випадків при таких змінах відбувається навантаження масиву з утворенням додаткової наведеної тріщинуватості, змикання технологічних щілин та затискання інструменту, деформація розвантажених порід. Питання вивчення полів напружень, що діють у масиві займалися ряд вчених зі світовим ім'ям (А.Гейм та А.Р. Дінніков), які першими висунули гіпотезу утворення напруг у масиві. Відповідно до сучасного стану питання вивченості сил, що діють у земній корі, а відповідно і сил діючих у масиві порід, усі їх поділяють на такі типи:

1. гравітаційні (гідростатичні);
2. тектонічні;
3. теплові.

Вперше модель гравітаційних полів була запропонована в 1878 р. вченим А.Геймом. Її суть полягала в тому, що порода знаходиться в приховано-пластичному стані і тому напруги, що викликають дію сили гравітації вирівнюються за всіма напрямками за рахунок пластичних деформацій. Відповідно до цієї моделі сил усі складові напружень σ_x , σ_y , σ_z рівні між собою та залежать від об'ємної ваги вище лежачих порід та глибини залягання від поверхні (1).

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \sigma H . \quad (1)$$

Як виявилось пізніше, пластичні деформації не відбуваються на такому рівні, щоб зрівноважити цю силу за всіма напрямками. Тому дана гіпотеза була достовірною лише для значень вирівнювальних напруг (2).

$$\sigma_z = \sigma H. \quad (2)$$

Дане положення спростив радянський вчений, академік А.Р. Дінніков, який запропонував дещо іншу гіпотезу, яка відрізняється від попередньої дією бокових (горизонтальних) сил у масиві. Тобто бічні напруження виникають під дією реактивного бічного розпирання, яке визначається пружними властивостями порід – коефіцієнтом Пуассона (3):

$$\sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma H, \quad (3)$$

де λ – коефіцієнт бокового розпору $\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$.

Однак дана теорія є справедливою з деяким виключенням. Для незв'язних сипучих порід сили бокового розпору будуть залежати від кута внутрішнього тертя (4):

$$\lambda = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho} = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right), \quad (4)$$

де ρ – кут внутрішнього тертя.

Ця теорія є достовірною лише для гравітаційної складової сил, що виникають у породи.

В дійсності ж картина полів є сумою полів напружень різного генезису. І якщо не відрахувати інші складові сили, що впливають на напруження в масиві, то теорія запропонована академіком А.Н. Дінніком є справедливою. Однак її не достатньо для вивчення повної картини розподілу сил у масиві блочного облицювального каменю.

Для реальних умов картина напружень значно складніша запропонованої моделі, що пов'язана з дією таких зовнішніх умов, як геологічні, гідрогеологічні, геодинамічні, тектонічні, газодинамосейсмічні умови та рельєф поверхні.

За проявами напружень виділяють такі основні геологічні формації за властивими для них особливостями полів напружень [1]:

1) Райони давніх кристалічних щитів, що характеризуються високими горизонтальними напругами внаслідок тангенціального стискання твердої оболонки земної кори. У практиці гірничих робіт є ряд районів, для яких характерні різні прояви високих горизонтальних тектонічних напруг у кристалічних породах.

2) Відкладення осадових порід на кристалічних платформах з відносно рівним рельєфом, що характеризується відсутністю тектонічних напружень. У них напруження визначаються виключно гравітаційними силами бічного розподілу.

3) Райони сучасної тектонічної активності, що характеризуються особливо складною картиною напруженого стану масиву гірських порід. По аналогії з районами давніх кристалічних щитів на них діють значні горизонтальні напруги, однак на окремих ділянках вертикальні напруги значно відрізняються від напруг викликаних силою гравітації.

Якщо розглядати родовища облицювальних каменів Українського кристалічного щита то слід зазначити, що вони знаходяться в районах першого типу.

Наявність високих горизонтальних напруг підтверджується багаторічними спостереженнями та експериментальними даними вимірювань вертикальних та горизонтальних напружень [1]. Значні горизонтальні напруження, що є характерними для ряду родовищ Українського кристалічного щита мають місце і на багатьох родовищах країн СНД та світу [4, 5].

Спільною особливістю проведених досліджень є те, що тектонічна складова напружень не виявлялася окремо, а вимірювалася в сукупності сил та факторів природного та штучного характеру. За відомостями та дослідженнями А.І. Ільїн [6] узагальнив дані прояви тектонічної напруги:

1. Тектонічні напруги діють у горизонтальній площині.
2. Напрямок дії тектонічних напруг є постійними для певного регіону.
3. Тектонічні напруги спостерігаються в скельному масиві гірських порід.
4. У розрахунках величина тектонічних напруг орієнтовано приймається постійною величиною зі зміною глибини та не впливає на величину вертикальної складової від гравітаційної дії ваги породи.

А.І. Ільїн у своїх працях зазначив, що: тензор напруг у випадку непорушеного масиву, виходячи з дії гравітаційних та тектонічних сил описується залежностями виду для скельних порід:

$$\sigma_1 = \sigma'_{\tilde{n}\tilde{o}}; \sigma_2 = \sigma_{\tilde{o}} \geq \sigma_1 = \text{const}; \sigma_3 = m\gamma H_{\tilde{n}\tilde{o}}, \quad (4)$$

де γ – густина породи масиву, кг/м^3 ; $m \leq 1$ – коефіцієнт бічного розпору породи.

Крім того в перехідній зоні від м'яких порід до незмінених скельних тектонічні напруження постійно зростають від $\sigma_2 = m \gamma H_{ст}$ до $\sigma_2 = \sigma t = \text{const}$. При цьому характерним є виникнення зон, де $\sigma_1 = \sigma_2$ діють гідрологічні сили.

Згідно з цією теорією розвантаження відбувається в бортах кар'єру горизонтальних тектонічних напружень, а на дні концентрація вертикальних.

При цьому А.І. Ільїн акцентує увагу на тому, що дія горизонтальних сил тектонічного походження принципово відрізняється при відкритій та підземній розробці родовищ. У випадку підземної розробки вона слугує фактором, що підвищує стійкість підземних виробок, а при відкритому способі навпаки. Крім того, на напружений стан порід у масиві вказує чітко виражений ефект релаксації порід після їх видобування з масиву, що виявляється у досить незначній зміні габаритних розмірів видобутого блока та наведенням, у деяких випадках, досить значної тріщинуватості блока протягом 2–3 діб після видобування.

Висновки. Наявність високого рівня горизонтальних напружень спостерігається і на ряді кар'єрів Українського кристалічного щита. Так зване «стріляння» каменю в масиві спостерігається на кар'єрах, що розробляють Покостівське родовище гранодіориту, це явище характерне і для Сліпчицького (родовище габро) і Осницького родовища лабрадориту. Картина розподілу тектонічних напружень у межах цих родовищ досить складна та нерівномірна. На деяких родовищах Житомирської області тектонічні напруження не спостерігаються до глибини 40 м і більше, що пов'язано з їх відсутністю. На більшості родовищ кристалічних порід Житомирської області при відносно незначній відстані між покладами у 15–50 км спостерігається значна відмінність у полях напружень, що вказує на наявність розломів у ділянках між родовищами, в яких відбувається різка зміна значень горизонтальних напружень, аж до повної їх відсутності у поверхневих ділянках покладів.

Тому для встановлення закономірності та рівня тектонічних напружень по кожному родовищу Українського кристалічного щита потрібно дослідити окремо опираючись на геофізичні дослідження району робіт, які проводилися раніше.

Наявність горизонтальних сил у масиві кристалічних порід, що діють у поверхні покладу та їх розподіл суттєво відрізняються від вертикальної складової напружено-деформованого стану масиву, що можливо спрогнозувати та розрахувати. Горизонтальні напруги викликані тектонічними силами не є прогнозованими та такими, що можливо розрахувати. Одержати інформацію про такі сили можливо лише емпіричним способом шляхом здійснення вимірювань напружень масиву та за релаксацією розвантажених порід. Особливо це питання гостро стоїть для родовищ блочного облицювального каменю. Із зазначеного вище приходимо до висновку про необхідність у проведенні досліджень полів об'ємного напруженого стану масиву порід блочного каменю при відкритому способі видобування.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Казинаев Д.М.* Исследование особенностей геомеханических процессов при разработке месторождений в тектонически напряженных массивах / *Д.М. Казинаев, А.М. Григорьев* // Проблемы механики горных пород : матер. VIII Всесоюзной конф. по геомеханике горных пород. – М. : Наука, 1987. – С. 156–162.
2. *Марков Г.А.* Напряженное состояние пород и горное давление в структурах гористого рельефа / *Г.А. Марков, С.Н. Савченко* ; отв. ред. *Д.М. Бронников*. – Л. : Наука, 1984. – 140 с.
3. *Влох Н.П.* Управление горным давлением на подземных рудниках / *Н.П. Влох*. – М. : Недра, 1994. – 208 с.
4. *Богданов П.А.* Напряженное состояние гранитов на руднике им. Кирова (Кривой Рог) / *П.А. Богданов, Е.П. Чистяк, А.В. Недзвецкий* // Напряженное состояние земной коры. – М. : Наука, 1973. – 186 с.
5. *Шаманская А.Т.* Соотношение тектонических элементов с полями современных напряжений в горной Шории) / *А.Т. Шаманская, П.В. Егоров* // Напряженное состояние земной коры. – М. : Наука, 1973. – С. 72–85.
6. *Ильин А.И.* Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах / *А.И. Ильин, А.М. Гальперин, В.Н. Стрельцов*. – М. : Недра, 1985. – 248 с.

КАЛЬЧУК Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехнологій ім. проф. М.Т. Бакка Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- розробка родовищ блочного облицювального каменю;
- напружено-деформований стан масиву гірських порід.

Подано 14.09.2011

