

УДК 622.236.3

Н.В. Зуєвська, д.т.н., проф., **О.В. Горобчишин** асп., **А.О. Дроботущенко**, магістр (НТУУ «КПІ»)

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ ЗОН З КРИТИЧНИМ НАПРУЖЕННЯМ В ПРОЦЕСІ ВИДОБУТКУ ГРАНІТНИХ БЛОКІВ

N.V. Zuievskaya, O.V. Gorobchyshyn, A.O. Drobotushchenko (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

RESEARCH FORMATION ZONES CRITICAL STRESS IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF GRANITE BLOCKS

Представлені результати лабораторних дослідів неруйнівними методами характеристик міцності блоків, які проводились на заводі «Граніт». Розглянуто і проаналізовано особливості формування поля напружень в блоці каменю видобутого з тектонічно напруженого масиву. Було проведено комп'ютерне моделювання з визначенням критичних зон поля напруження при частковому розвантаженні на уступі в процесі видобування блоку, та досліджено характер розподілу напружень в кутовій зоні та навколо неї в блоці або на уступі.

Ключові слова: *блочний камінь; напружено-деформований стан; відкриті гірничі роботи; вихід блоків.*

Представлены результаты лабораторных исследований неразрушающими методами прочностных характеристик блоков, которые проводились на заводе «Гранит». Рассмотрены и проанализированы особенности формирования поля напряжений в блоке камня добытого с тектонически напряженного массива. Было проведено компьютерное моделирование с определением критических зон поля напряжения при частичном разгрузке на уступе в процессе добычи блока и исследован характер распределения напряжений в угловой зоне и вокруг нее в блоке или на уступе.

Ключевые слова: *блочный камень; напряженно-деформированное состояние; открытые горные работы; выход блоков.*

The results of laboratory tests by non-destructive methods of performance units that were held at the "Granite". Considered and analyzed the features of the formation of the stress field in the block of stone extracted from the tectonic stress array. It was conducted by computer simulations with the definition of critical areas of the field intensity of the partial discharge on the ledge in the extraction unit, and investigated the distribution of stresses in the corner area and around the block or on a ledge.

Keywords: *block stone; deflected mode; open cast mining; output units.*

Вступ. Природний напружений стан гірських порід – це сукупність напружених станів, що формуються в масивах гірських порід (в надрах) внаслідок впливу природних факторів. Основний і постійно діючий фактор формування природного напруженого стану є гравітація; додаткові фактори: вертикальні і горизонтальні рухи земної кори, процеси денудаційного зрізу і перевідкладення гірських порід, які мають різну поширеність, тривалість і силу

дії (змінюючись постійно, безперервно або стрибкоподібно). У ряді ділянок земної кори при активно діючих додаткових факторах горизонтальні або похилі складові тензорів напружень можуть значно перевищувати вертикальні складові, які визначаються з розрахунків по гравітації.

Природний напружений стан залежить від геометрії і структурних характеристик масиву, його деформованості, міцності гірських порід, їх в'язкості, обводнення та ін [4]. Природний напружений стан і його зміни призводять до деформацій, зсувів і руйнувань різних елементів породних масивів на глибині і на поверхні, до деформацій інженерних споруд, кріплень гірничих виробок, викликають землетруси, стріляння гірських порід і гірські удари. Енергія природного напруженого стану здатна виробляти і корисну роботу по поліпшенню дроблення порід при видобутку твердих корисних копалин, полегшення буріння при проходці свердловин. Пізнання закономірностей природного напруженого стану представляє одну з фундаментальних завдань наук про Землю, що мають найважливіше практичне значення. З урахуванням природного напруженого стану вибирають розташування і спосіб проведення гірничих виробок для зменшення шкідливих проявів гірського тиску, проводять місцеве регулювання природного напруженого стану за допомогою розвантажувальних щілин (екранів) і т.п.

Напруги, що присутні в гірському масиві, в значній мірі, впливають на його властивості. Навіть однорідні тіла не мають, як відомо, абсолютних властивостей міцності, які залежать також і від їх напруженого стану. В процесі видобутку гірських порід з масиву спостерігається таке явище як перерозподіл напружень, тому що в тілі масиву створюються вільні поверхні. У перерозподілі напружень найбільш ясно проявляються приховані напруги в земній корі. Гірські удари, розриви порід і зсуви - найвідоміші прояви перерозподілу напруг. 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: гравітаційні (гідростатичні); тектонічні; теплові.

Мета роботи: визначення впливу напружено – деформованого стану гірського масиву на блок в процесі видобутку при частковому оголенні уступу.

Актуальність роботи. Новоутворені вільні поверхні викликають виникнення нових тріщин в масиві. Цьому факту надається велике технічне значення, яке особливо важливо мати на увазі в тих випадках, коли в тілі масиву створюються вільні поверхні: виймання блоку з масиву, спорудження різних підземних камер, розрізів, великих котлованів під фундамент і т. п., а також при природному зносі під дією води, льоду або сили тяжіння.

Викладення матеріалу. Експериментально і теоретично досліджено вплив природних і штучно створених концентраторів напружень (мікротріщин) в зразку гірської породи на характер розподілу напружень в кутовій зоні та навколо неї в блоці або на уступі. Проведено оцінку міцності зразків граніту за допомогою двох неруйнівних методів.

В роботі[1] представлені результати дослідів, які проводились на гранітному кар'єрі, що знаходиться в США (місто Барре, штат Вермонт). Було

виміряно тензори напруження в процесі видобутку блоків і отримано результати, які наглядно показують зональність розподілу напруження при утворенні вільних поверхонь в процесі видобутку.

Ми, в свою чергу, дослідили гранітний блок на заводі «Граніт». Досліди проводились за допомогою двох неруйнівних методів: молоток Шмідта та ультразвуковий метод. Були застосовані Schmidt Hammer 225 та ультразвуковий прилад MATEST модель C372N. Було проведено 9 дослідів молотком шмідта та 16 за допомогою ультразвуку, в кожній точці ми робили по три заміри і записували середнє значення для підвищення точності нашого досліду. Після обробки даних ми отримали результати які показано на рис.1 і 2.

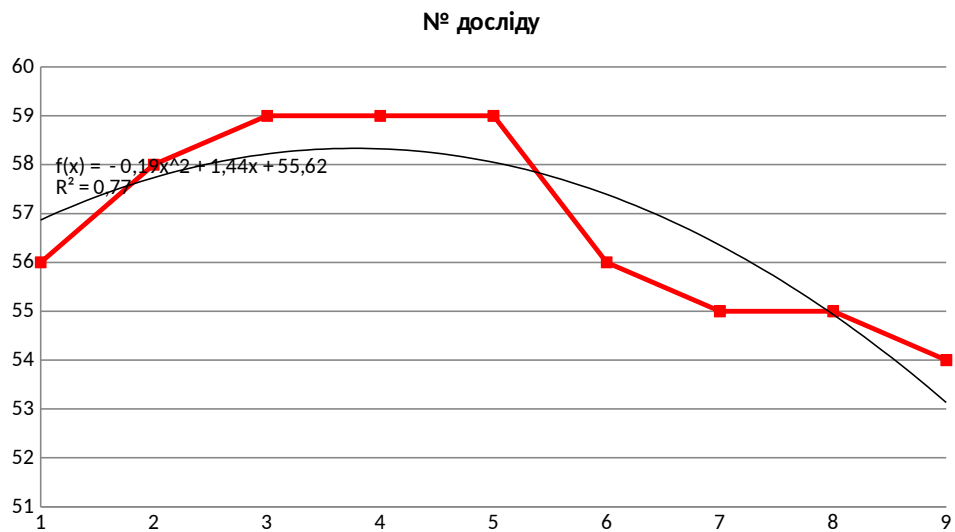


Рис.1. Результати вимірювання з приладу МШ-225

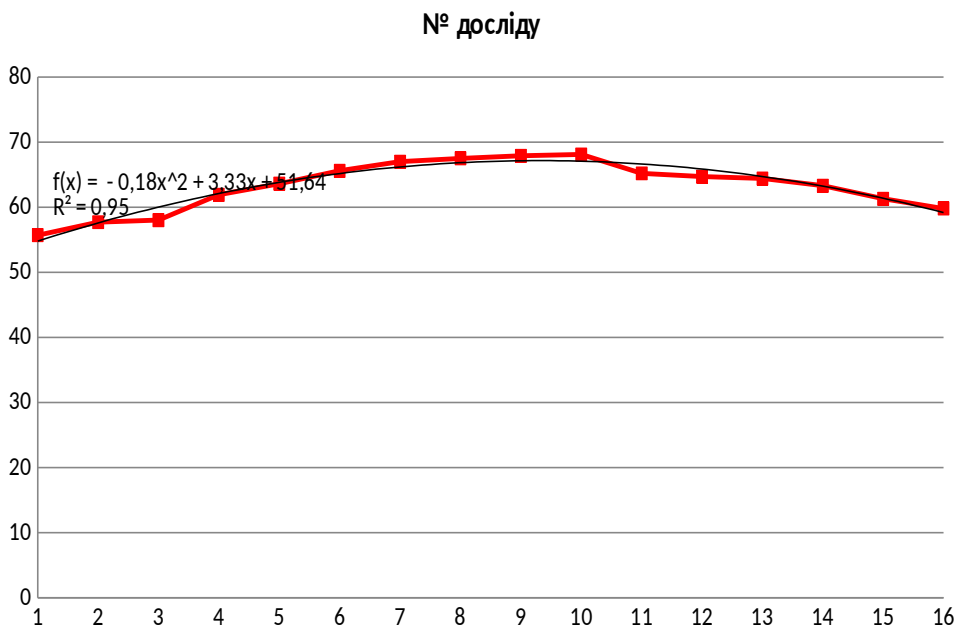


Рис.2. Результати вимірювання з приладу MATEST модель C372N

Після обробки результатів ми отримали приблизну картину міцності блоку, яка змінилася під впливом напружено-деформованого стану масиву в процесі видобутку.

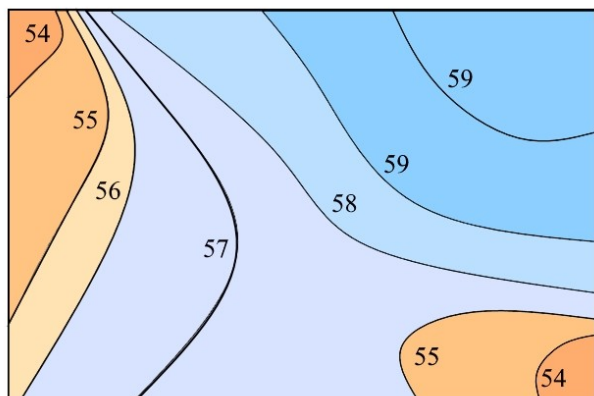


Рис. 3. Міцність блоку в Н/мм²

Для проведення теоретичного експерименту було застосовано програму SolidWorks 2016, яка показала схожі експериментальні результати. Оскільки за своїми характеристиками граніт подібний до ПММА(орг. скло) тому ми його використали для моделі. Для того, щоб отримати такі результати було змодельовано гірський масив на який діє сила гравітації. З цього масиву було виїнято блок, через що утворилося дві вільні поверхні.

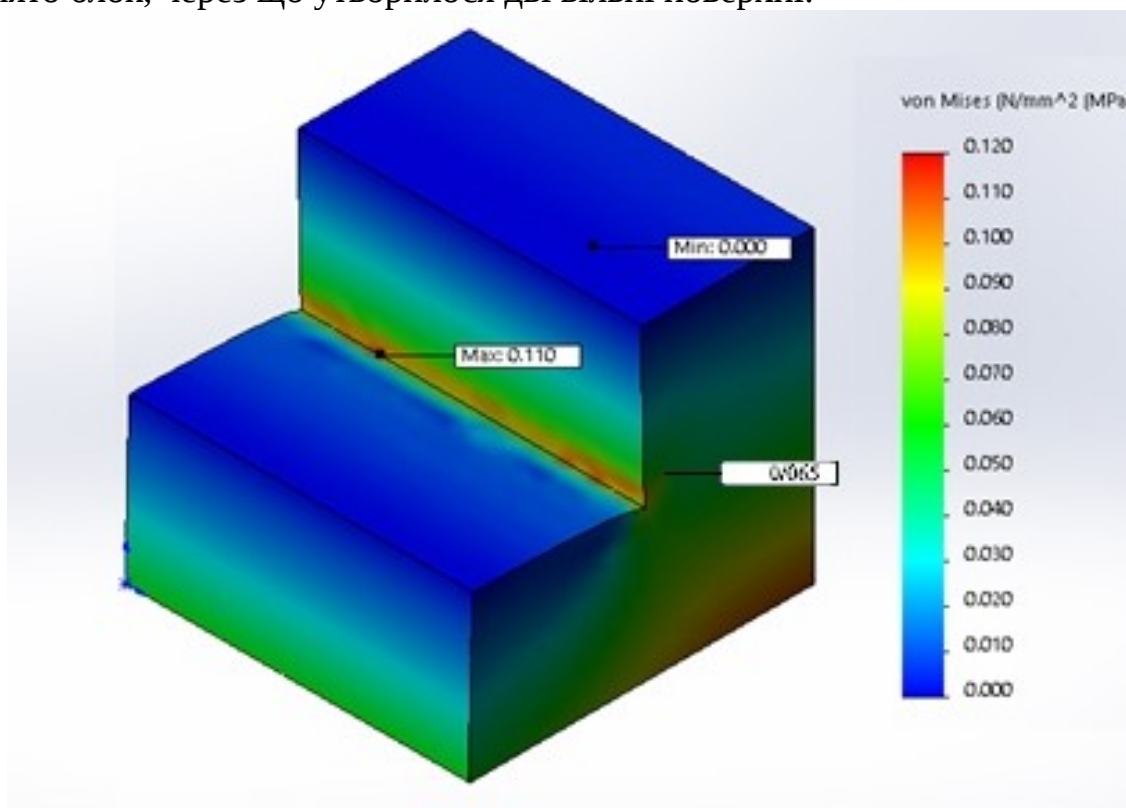


Рис. 4. Результати отримані в програмі SolidWorks 2016

Перша модель гравітаційних полів була запропонована в 1878 і 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 [2]. 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):

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

Пізніше було визначено що, 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):

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

Це твердження було спростовано, 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 $\lambda = \frac{\mu}{1 - \mu}$

Ця теорія не буде справедливою для незв'язних сипучих порід сили бокового розпору будуть залежати від кута внутрішнього тертя (4):

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

де p – кут внутрішнього тертя.

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

В дійсності ж картина полів є сумою полів напружень різного генезису [3]. І, якщо не враховувати інші складові сили, що впливають на напруження в масиві, то теорія запропонована академіком Дінніком А.Н. 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, сейсмічні умови та рельєф поверхні.

Висновки

В процесі видобування кам'яних блоків змінюється напружено-деформований стан масиву. Спочатку масив знаходиться в природному напруженому стані та в процесі ведення робіт напружено-деформований стан блоку не однаковий. Відбувається перерозподіл напружень у масиві блочного каменю та концентрація їх у певних зонах, що має негативний характер і за рахунок деформації розвантажених порід призводить до утворенням додаткової зональної технологічної тріщинуватості.

Оскільки опір стисненню гранітоїдів знаходиться в межах 100—300 МПа, а опір на розтягнення відповідно 10-30 МПа, при цьому тиск при якому починають утворюватись тріщини складає не більше за 5 % від величини тиску розтягнення[5]. В результаті проведеного математичного моделювання зміни напружено-деформованого стану в процесі видобутку блоків, були визначені зони, в яких напруження підвищується в два рази. Це сприяє активізації процесу тріщиноутворення, а відповідно до цього призводить до зниження міцності в кутових зонах блоків, що і було отримано в результаті експериментальних досліджень. Результати проведеного комп'ютерного моделювання підтвердили, що підвищення поля напруження в кутових зонах в два рази перевищує загальний рівень напруження і співпадає з експериментальними даними.

Список використаних джерел

1. Nichols, Jr., Thomas C. A study of rock stresses and engineering geology in quarries of the Barre granite of Vermont. (U.S. Geological Survey bulletin; 1593) /Nichols, Jr., Thomas C. A// 1986. – С –38.
2. Кальчук, С.В. Вплив тектонічних сил на формування напружено – деформованого стану порід родовищ блочного облицювального каменю – [Текст] / Кальчук С.В. // Житомир: Вісник ЖДТУ, 2011. – С – 162-165.
3. Кальчук, С.В. Особливості формування поля напружень при видобуванні блочного облицювального каменю [Текст] / Кальчук С.В. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво» Випуск 26. – 2014 р. – С. 80-84.
4. 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.
5. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В.С. Білецького// Донецьк: Донбас, 2004. – ISBN 966-7805-14-3.

Стаття надійшла до редакції 19.04.2016 р.