

Практична робота №2. Дослідження впливу діаметру заряду на радіус дроблення гірської породи

В результаті вибуху заряду детонаційна хвиля на поверхні контакту заряд-порода переходить в ударну хвилю в гірському масиві, параметри якої визначаються властивостями вибухових речовин і гірської породи. По мірі віддалення ударної хвилі від поверхні контакту заряд-порода її швидкість поширення і тиск на фронті зменшуються в наслідок втрати енергії. На незначній відстані від місця встановлення заряду вибухової речовини швидкість ударної хвилі стане рівною швидкості звуку в породі і надалі залишається постійною. Тиск газоподібних продуктів вибуху також знижується в міру їхнього охолодження і розширення камуфлетної порожнини, яка утворюється в результаті вибуху.

Процес руйнування гірської породи проходить в наступній послідовності. Ударна хвиля і тиск продуктів вибуху руйнують і повністю витісняють певний об'єм породи, яка прилягала перед вибухом безпосередньо до заряду, утворюючи при цьому порожнину. Якщо вибух виконаний у крихкому середовищі, то швидше за все в зоні подрібнення порода буде подрібнена на частки розміром порядку 1 мм. Подрібнена до такого ступеня порода перед вибухом займала об'єм, укладений у сфері радіусом не більш двох радіусів заряду вибухової речовини. З віддаленням від місця розташування заряду вибухової речовини стискаючі напруги спричинені ударною хвилею швидко падають і на певній відстані стають менше ніж міцність породи на стиск, тому порода перестає руйнуватися безпосередньо від стискаючих радіальних напружень. Проте, в разі наявності таких напружень у породі виникають напруження, які розтягують її в тангенціальному напрямку.

Відомо, що крихкі гірські породи дуже слабо опираються навантаженням на розтяг, тому в зоні руйнування, тангенціальні напруження будуть мати більші значення ніж міцність породи на розтяг і з'являється мережа тріщин розриву породи в радіальному напрямку. За винятком цього, після проходження хвилі стиску через певний проміжок часу утвориться хвиля розтягу, у якій радіальні напруги

(хоча і набагато меншої величини) будуть розтягуючими. Саме через це в ближній до заряду вибухової речовини частини зони руйнування з'являються тріщини у тангенціальному напрямку від дії радіальних напружень, що розтягують.

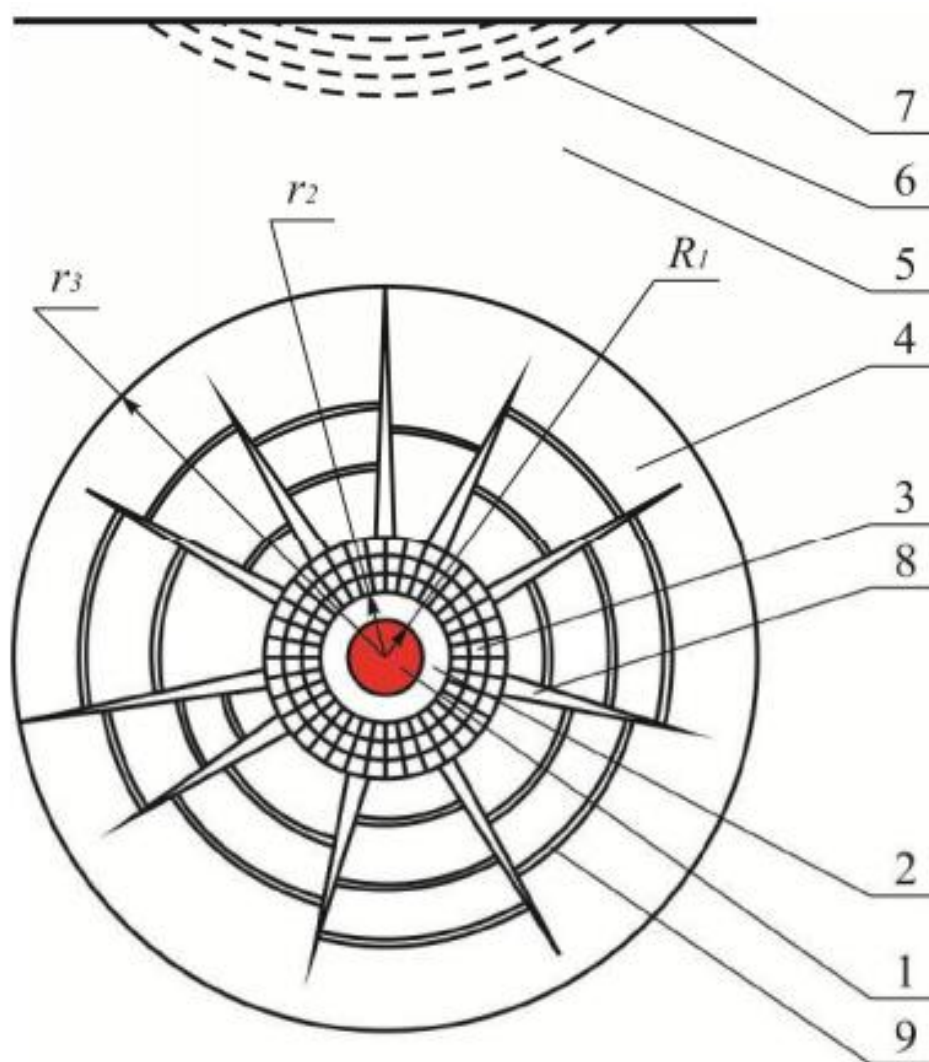


Схема дії вибуху в гірській породі: 1 – заряд ВР; 2 – зона витиснення; 3 – зона подрібнювання; 4 – зона руйнування; 5 – зона струсу; 6 – зона відколу; 7 – вільна поверхня; 8 – радіальні тріщини; 9 – тангенціальні тріщини.

При подальшому поширенні ударної хвилі в межах зони тангенціальних напружень, які розтягують, знижуються і зменшують величини значення межі міцності породи на розтяг. Як наслідок, в зоні струсу відбуваються тільки коливання часток породи без її безпосереднього руйнування і така область

породи називають зоною струсу. При розміщенні заряду вибухової речовини на незначній відстані від вільної поверхні хвиля стискаючих напруг загасає при підході до цієї поверхні і при відбитті від неї утворює хвилю розтягу, що поширюється в зворотному напрямку (у глибину породного масиву).

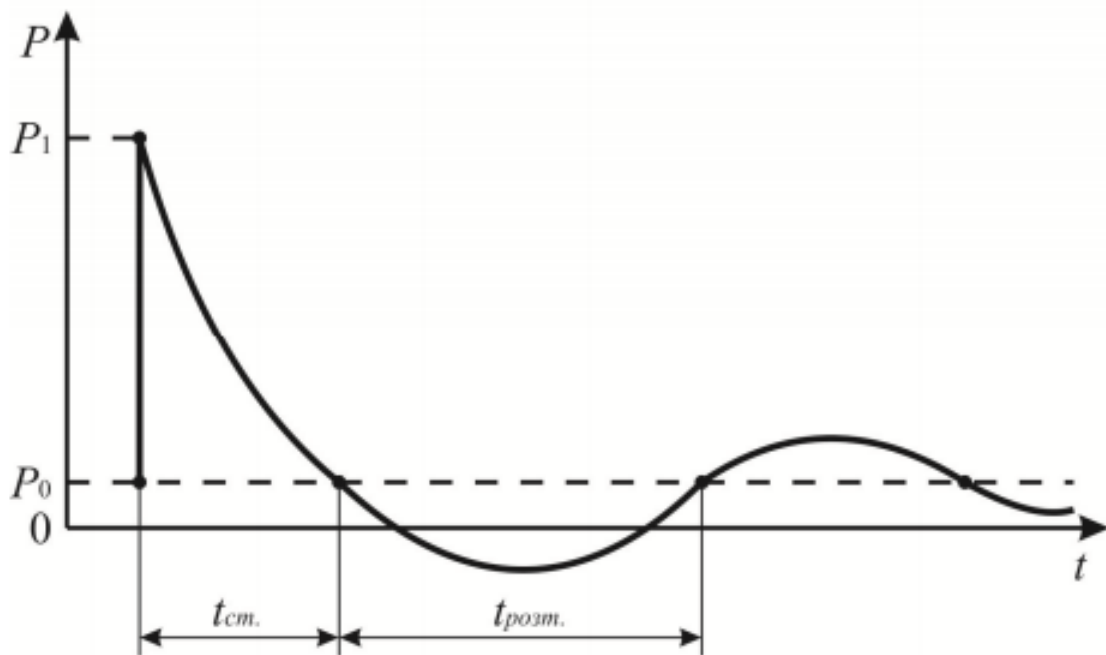
Якщо поблизу вільної поверхні радіальні напруги, які розтягують, перевищують межу міцності породи на розтягнення, то створюються відкольні лійки. У тому разі, якщо заряд вибухової речовини розміщений достатньо близько до вільної поверхні то зона відколу може зімкнутися з зоною руйнування і виникає руйнування всього обсягу породи від заряду до вільної поверхні. За особливостями механізму руйнування всі гірські породи поділяються на три групи:

- ґрунтові масиви (піски, супіски, глини та ін.);
- міцні монолітні породи (граніти, базальти, доломіти, піщаники та ін.);
- породи малої і середньої міцності (глинисті і піщанисті сланці, неміцні піщаники, вапняки, вугілля та ін.).

Породи першої групи в більшості випадків руйнуються під впливом високого тиску газів вибуху, в наслідок чого в ґрунті утворюється порожнина. Окремі частки породи розганяються газами і спричиняють додаткове руйнування стінок порожнини. При певних співвідношеннях величини заряду і глибини його закладання частки ґрунту викидаються на вільну поверхню. Ударна хвиля в таких випадках має малий вплив на процес руйнування ґрунту через низьке значення сили зв'язку і наявність у ґрунті великої кількості пор і порожнеч, які зумовлюють швидке загасання ударної хвилі.

Породи другої групи руйнуються в більшості випадків за рахунок дії ударної хвилі, яка викликає поширення в прилягаючому масиві хвиль напружень стиску і розтягу. У момент взаємодії ударної хвилі з будь-якою точкою масиву тиск у цій області стрибкоподібно зростає від початкового значення (початкове поле напружень) до кінцевого, яке виникне на фронті ударної хвилі. Фронт ударної хвилі у такому разі буде характеризуватись високим тиском, який швидко падає за короткий проміжок часу до значення меншого, ніж початкове. З цього

моменту часу фаза стиску змінюється фазою розвантаження яка триває впродовж встановленого проміжку часу. У момент приходу ударної хвилі в будь-яку точку масиву гірської породи середовище довкола цієї точки починає переміщатися з повною швидкістю в напрямку поширення ударної хвилі. Характер залежності швидкості переміщення середовища аналогічний епюрі.



Епюра напружень від вибуху в гірській породі

У фазі стиску середовище рухається у бік переміщення ударної хвилі, а у фазі розвантаження – у зворотному напрямку, але з меншою швидкістю. У міру віддалення ударної хвилі від центру вибуху, хвиля розосереджується в часі, а кінцеве значення тиску на фронті і швидкість переміщення часток середовища зменшуються. Під час вибуху на породу в зоні заряду ВР діє високий тиск, який досягає значення в десятки ГПа, відповідно порода в цій зоні сильно деформується та руйнується.

По мірі віддалення від заряду вибухової речовини, напруження в хвилі стиску спадають і на певній відстані стають меншими ніж опір породи стиску. З цієї точки часу, ударна хвиля, яка поширюється далі, створює у середовищі стискаючі напруження в радіальному напрямку, а в тангенціальному –

напруження розтягу, які викликають в результаті утворення радіальних тріщин розриву. Коли напруження від впливу ударної хвилі зменшуються до значення опору породи за розтягом, процес утворення тріщин зупиняється.

У тих випадках, коли хвиля напружень досягає відслоненої поверхні, то частки середовища на ній, що не мають перешкоди, починають переміщуватися в атмосферу, включаючи у цей процес усе шари, які лежать на більшій глибині. По масиву породи поширюється відбита хвиля розтягання. Якщо напруження в цій хвилі перевищують межі міцності породи на розтяг, то відбувається руйнування породи з утворенням відколених частин.

Породи третьої групи зазвичай руйнуються під впливом високого тиску газів вибуху і хвиль напружень. Пряма ударна хвиля, яка поширюється від точки вибуху заряду вибухової речовини, зустрічаючи на своєму шляху до вільної поверхні порожнини і тріщини в породі, відбивається від їхніх меж, створюючи в результаті цього ряд додаткових осередків руйнування.

Руйнування гірських порід при одночасному підриванні декількох зарядів. Вивчення механізму взаємодії хвиль напружень від вибуху суміжних зарядів вибухової речовини показує, що до моменту зустрічі хвиль середовище навколо кожного заряду поводить себе так само, як і при вибуху одиночного заряду. При зустрічі хвиль напружень відбувається їх підвищення напруг по лінії, яка з'єднує між собою заряди, і зменшує значення напружень у точці перетинання ліній, розміщених під кутом 45° до лінії, яка з'єднує заряди.

Руйнування гірських порід при короткоуповільненому висадженні отримало наразі досить широко поширення. Такий порядок підривання передбачає послідовне висадження окремих зарядів чи їх груп з проміжком часу, який рівний тисячним і сотим часткам секунди, завдяки чому, цей спосіб виділяється рядом переваг, у порівнянні з іншими: характеризується значним зменшенням сейсмічного ефекту; дозволяє знизити коефіцієнт розкиду гірської породи; зменшує витрати вибухової речовини; прискорює темпи спорудження виробок.

Короткоуповільнене висадження порід характеризується взаємодією вибухів зарядів суміжних серій уповільнення. Характер взаємодії цих зарядів

залежить в першу чергу від величини уповільнення, послідовності висадження зарядів та визначається: інтерференцією ударних хвиль; зіткненням шматків породи, які переміщуються в результаті проведення вибуху; використанням енергії відбитих хвиль за рахунок утворення додаткових відслонених поверхонь від вибуху попередньої серії зарядів. Проте, варто відмітити, що позитивний ефект внаслідок інтерференції ударних хвиль досягається виключно в тому випадку, коли напрямки зсуву шматків породи від попереднього і наступного вибухів збігаються. При цьому відбувається збільшення підсумкових напружень і зсуви, які інтенсифікують процес руйнування породи. В результаті вибуху заряду, перша хвиля стиску поширюється до відкритої поверхні і після відбиття від неї утворює хвилю розтягу, яка розповсюджується у глибину породного масиву. При цьому, вибух другого заряду повинен здійснюватися в момент проходження через нього цієї відбитої хвилі.

Головним недоліком процесу підготовки гірничої маси до виймання за допомогою способу буровибухових робіт є в першу чергу відсутність безпосереднього контролю над даним способом та недосконалість ведення вибухових робіт що в сукупності призводить до утворення значної кількості крупномасштабного та дрібномасштабного (переподрібненні шматки породи) негабариту.

Явище формування негабариту в процесі вибухового розпушення складно-структурних масивів корелює в першу чергу з утворенням в породах високої міцності (які локалізовані в межах пропластків підвищеної міцності) незруйнованих областей між сусідніми свердловинами, натомість у міцних породах вони практично відсутні. В процесі руйнування масиву з проشارком більш міцної породи та при використанні свердловинних зарядів, радіуси зон регульованого дроблення відповідно в міцному шарі і в масиві виявляються неоднаковими. В силу цього, в результаті масового вибуху, як на даному так і на аналогічних кар'єрах, в просторі між свердловинами утворюються зони нерегульованого дроблення, які є найбільш схильними до утворення в них негабаритів.

Значення величини радіусу контрольованого дроблення може бути визначене за допомогою теорії рівноважної вибухової порожнини. Радіус зони подрібнення (регульованого дроблення) для заданих умов може бути знайдений як:

$$r = 2 \sqrt{\frac{\left(\frac{S \cdot P_0}{\sigma_p}\right)^{\frac{1}{\gamma^2}} - 1 + \frac{\sigma_p}{K}}{\frac{\sigma_p}{K} + M + \Pi}}$$

де S – параметр адіабати;

P_0 – початковий тиск газів вибуху;

σ_p – межа міцності породи на розтяг;

γ – густина породи;

K – коефіцієнт всебічного стиснення;

Π – пористість породи;

$$M = 2 \left(\frac{P_0 \cdot r_0 + v}{E} \right) + \left(\frac{P_0 \cdot r_0 + v}{E} \right)^2$$

У відповідності до загальних законів перетворення енергії вибуху відомо, що основний вплив на радіус регульованого подрібнення чинить тиск газу P_0 , який давить на стінки свердловин (тиск продуктів детонації в точці Жуге). Дану величину було визначено наступним способом:

$$P_0 = \frac{\Delta \cdot D^2}{\gamma + r_0}$$

де Δ - щільність заряджання ВР;

D – швидкість детонації ВР.

Розрахунок відсоткового виходу некондиційних шматків породи з розміром більше ніж максимально допустимий (максимальний розмір приймався за розмірами ковша екскаватора та становить 1 м) може бути виконано як:

$$V_n = V_e^+ (1 - B_r \Pi)$$

де V_e^+ - вміст в масиві шматків з максимальними розмірами;

B_r – відносна висота зони подрібнення;

Π – відносна ширина зони подрібнення.

Відсотковий вміст в масиві шматків породи з максимальними розмірами може бути знайдений за допомогою наступного співвідношення:

$$V_e^+ = 100 \exp \left[- \left(\frac{\Gamma}{B_m} \right)^C \right]$$

де $C = 1,65(a)^{1/3}$ – параметр форми розподілу шматків породи;

$B_m = 1,4(a)^{1,25}$ – параметр масштабу розподілу шматків породи;

Γ – максимальні розміри габаритних шматків за розміром ковша екскаватора;

a – середня відстань між тріщинами в масиві.

Відповідно, відносна висота зони подрібнення визначається як:

$$B_r = 1 - \frac{l_{\text{наб}} - 0,5r}{H}$$

Натомість, відносна ширина зони подрібнення визначається як:

$$\Pi = \frac{r}{a}$$

Застосований спосіб потребує досить незначних затрат часу, проте, в ньому не враховується реальна картина з місця проведення вибуху. Справа в тому, що аналітичний спосіб визначення відсотку виходу негабариту базується на усереднених значеннях фізико-механічних властивостей гірського масиву, параметрах буровибухових робіт та власне характеристиках використовуваної вибухівки. Як зазначалось раніше, дуже часто товща гірського масиву містить в собі значну кількість включень (прожилок) підвищеної міцності, які можуть значною мірою впливати на ефективність ведення вибухових робіт, зменшуючи цим самим кількість енергії від вибуху, яка буде діяти на масив. Як наслідок, це може призвести до значної розбіжності між даними отриманими аналітично та фактичними значеннями виходу негабариту.

Окрім цього, даний спосіб відображає лише відсотковий вихід шматків, які перевищують максимально допустимий розмір, проте, для ефективного планування та проведення вибухових робіт важливо володіти інформацією також і про інші фракції, утворенні в результаті розпушення масиву. Це дозволить покращити ефективність роботи дробильно-сортувального устаткування та інших, пов'язаних з ним комплексів вторинної та третинної обробки гірської маси.

Резюмуючи, доцільним буде зробити проміжний висновок, що даний спосіб підходить швидше для визначення орієнтовного значення виходу негабариту, та може бути ефективно застосований на стадії проектування вибухової мережі, і ніяк не для оцінки фактичного значення виходу негабариту.

Одним зі способів контролю та коректування параметрів вибухових робіт являється власне якісна оцінка коефіцієнту дроблення підірваної гірничої маси. Одним з найважливіших технологічних показників, який характеризує якість дроблення підірваної гірничої маси є її гранулометричний склад, та безпосередньо середній розмір отриманих шматків породи.

Класичний метод визначення гранулометричного складу, як і власне відсотку виходу негабариту, полягає у обмірюванні шматків підірваної гірської маси в межах розвалу за допомогою звичайної мірної стрічки, метра чи рейки.

Після завершення обмірювання всіх шматків, виконують підрахунок сумарної довжини проекцій всіх шматків по кожному з видів фракцій за розміром.

Цей спосіб носить назву метричний. Він є одним з найстаріших способів визначення гранулометричного складу та виходу негабариту, проте, разом з тим ще й одним з найменш точних, та таких, що потребує значних затрат часу на його виконання. Разом з тим, потрібно відміти що він є ще й не надто безпечним, оскільки розвал підірваної породи зазвичай має досить велику висоту і є нестабільним, а використання даного методу базується на безпосередньому переміщенні людини яка виконує виміри по поверхні розвалу.

Більш сучасним є спосіб визначення гранулометричного складу розвалу підірваної гірничої маси за допомогою фотограмметрії з використанням різних програмних комплексів. Такий спосіб є в рази точнішим, а головне потребує набагато менше часу для його використання.

Точність гранулометричного складу визначена за допомогою даного методу головним чином зумовлена якістю початкових фото, на основі яких і виконується аналіз. Потрібно пам'ятати, що фото повинно мати високу роздільну здатність, бути зробленим за відповідного освітлення та містити як умога менше розмитих, не чітких елементів у своєму складі та тіней.

В розрізі даної дослідної роботи, для визначення гранулометричного складу розвалу підірваної гірничої маси було використано фотограмметричний додаток, який має назву ImageJ. Однією з головних переваг цього додатку є можливість використання фото у різних форматах, зокрема таких як: TIFF, GIF, JPEG, PNG, DICOM, BMP, PGM та FITS. В разі необхідності, можна встановити ряд надбудов, які втілять можливість використанні і інших форматів. Це є досить вагомою перевагою, оскільки допомагає уникнути втрат часу на конвертування зображення з одного формату в інший, і найголовніше, деформації кольору та контрасту оброблюваного зображення.



Фото розвалу, на основі якого було виконано фотограмметричний аналіз

В ході виконання базового фото, потрібно також пам'ятати, що на фоні розвалу, або іншого елементу, параметри якого мають бути визначенні в ході виконання аналізу, потрібно розмістити опорний об'єкт. Таким об'єктом, фактично може бути будь-яка річ, розміри якої є відомі, проте, найкраще для таких цілей підійде мірна стрічка, лінійка чи рейка. Для того, щоб не втрачати частину даних, через розміщення поверх об'єкту аналізу опорного елементу, рекомендується спочатку виконати два фото, з однієї і тієї ж позиції (фіксуючий прилад при цьому рекомендується встановити на штатив), проте, на одному фото показати виключно об'єкт фіксації, а на іншому, об'єкт фіксації та опорний об'єкт. Розміщення об'єкта фіксації є необхідним для прив'язки результатів аналізу до реальних розмірів, оскільки результати аналізу зображення (визначення площ, довжин та ін.) відображаються у пікселях, і для формування загальної картини про досліджуваний об'єкт мають бути приведенні до більш традиційних величин.

Варто відмітити, що даний додаток не потребує потужного обладнання, та може бути застосований на базі практично будь якої 32-х бітної ЕОМ. Інтерфейс додатку є максимально простим та мінімалістичним, проте, він несе в собі досить широкий функціонал, проте розглядати його повністю в тематиці даної роботи не є доцільним, отож, буде розглянуто лише ті функції, які були безпосередньо використані.

Аналіз гранулометричного складу розвалу розпочався з його завантаження у робоче середовище ImageJ. Перш ніж перейти до безпосередньо аналізу, фото розвалу необхідно підготувати, задавши йому ряд кольорових порогів (фільтрів) та контурів, по яких буде виконуватись підрахунок. Для цього, необхідно перейти у вкладку «image», обрати пункт «Adjust» та звипадаючого списку розділ «Color Threshold». У даній вкладці відображаються порогові значення 24-бітових RGB-зображень на основі насиченості та яскравості відтінку (HSB), червоний зелений та компоненти Blue (RGB), CIE Lab або YUV. Діапазони представлених фільтрів можна встановити вручну, або на основі компонентів значення пікселів визначених користувачем.

Дана робоча зона, містить в собі ряд наступних складових елементів:

- «Pass» - якщо встановлено прапорець на цьому пункті, то значення в межах діапазону порогів (смуговий фільтр) відображається, якщо ж це поле не відмічено, то значення поза вибраним діапазоном мають порогове значення (фільтр відхилення смуги);

- «Thresholding Method» - дозволяє використовувати будь-який з 16 різних методів автоматичного встановлення порогів;

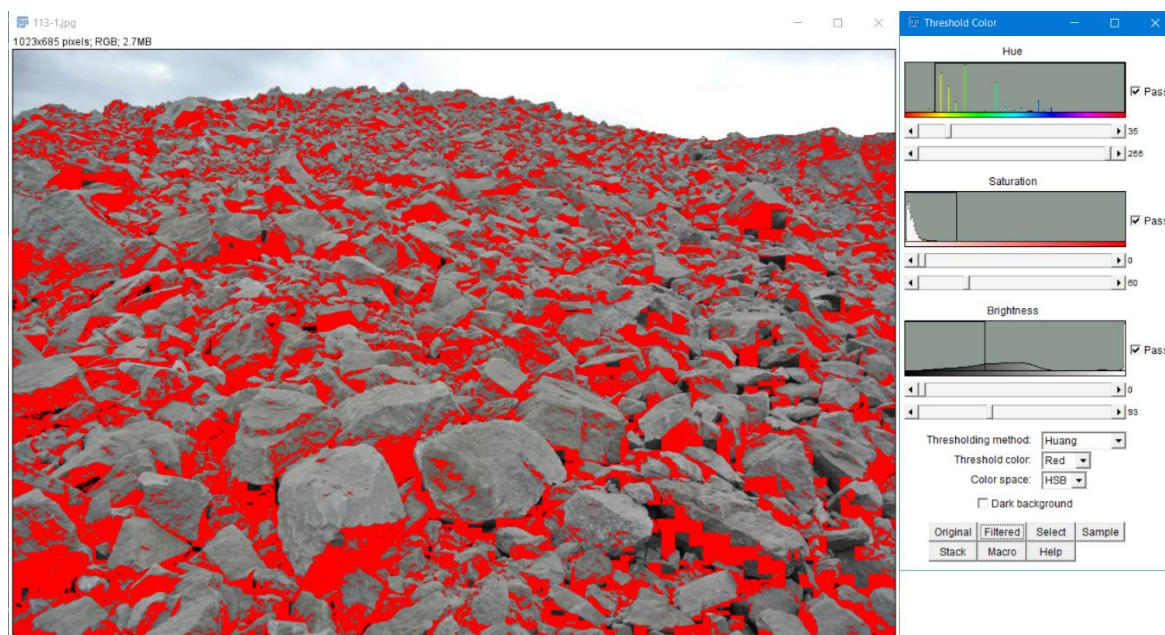
- «Threshold Color» - відповідає за вибір порогового кольору, який може бути червоний, чорний, білий або чорно-білий;

- «Color space» - дозволяє виконати вибір колірного простору: HSB, RGB, CIE Lab або YUV;

- «Dark background» - доцільно застосовувати у випадку, коли перспектива світліші за фон;

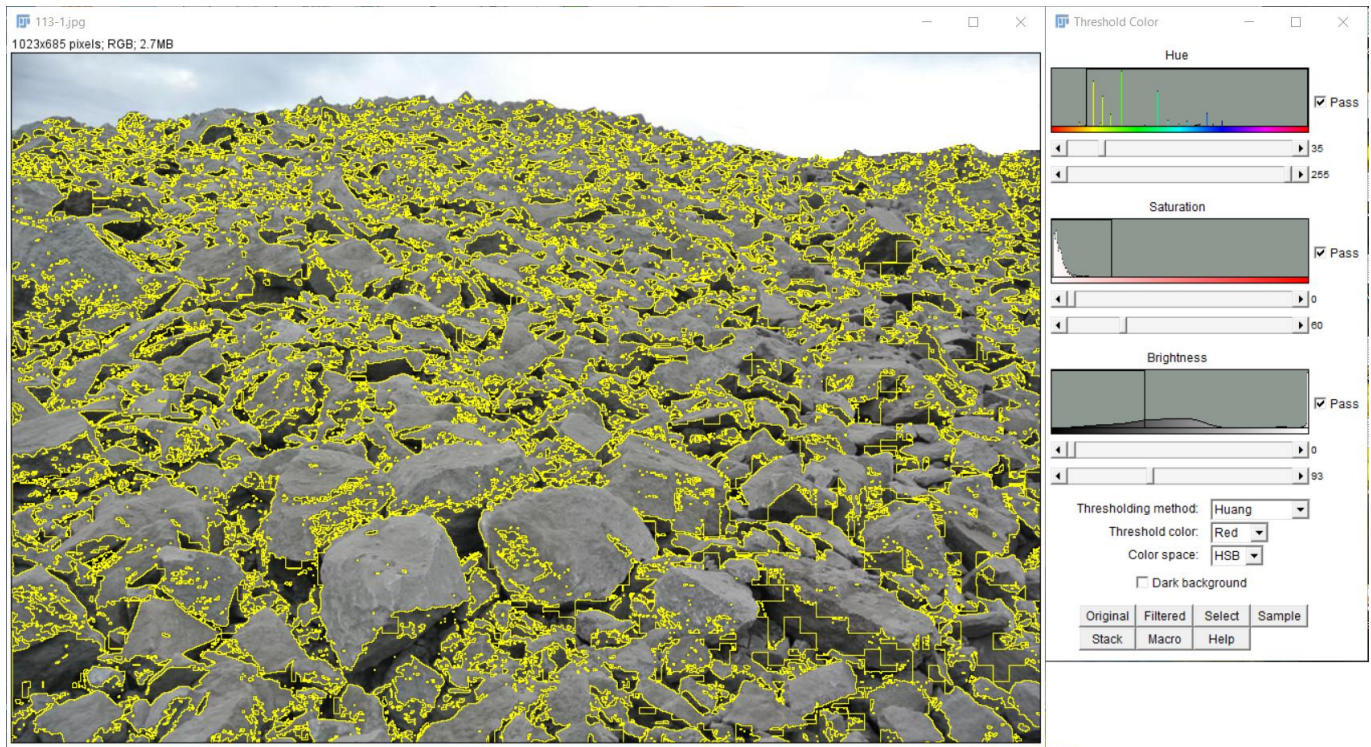
- «Original» - відновлює вихідне зображення та оновлює буфер при переході на інше зображення.

Приклад зображення розвалу породи, зі встановленим на нього кольоровим порогом (фільтром).



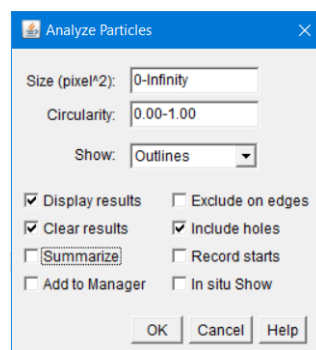
Приклад налаштування кольорових порогів (фільтрів)

Кольоровий поріг (фільтр), виставляється таким чином, щоб відсіяти некондиційні частини зображення. Безпосередньо в даному випадку, це горизонт, який знаходиться на фоні розвалу та незначна кількість сліпих плям (елементів чорного кольору) на фоні розвалу. Такі елементи будуть відсіянні, та не будуть враховані при визначенні гранулометричного складу, оскільки вони не несуть в собі жодної інформації. Формування таких плям зумовлено перш за все тінню, якої важко позбутись як в процесі виконання так і в процесі обробки фото, а також різноманітними пустотами, западинами та іншими подібними елементами у складі розвалу гірничої маси. З метою спрощення, та підвищення кінцевої точності отриманих результатів було додатково виконано і накладено на попереднє зображення районування розвалу за допомогою оконтурення чітко виокремлених шматків гірничої маси.



Оконтурення шматків гірничої маси на поверхні розвалу

Для виконання аналізу розвалу та підрахунку необхідних значень було використано вкладку «Analyze» та функцію «Analyze Particles».



Вікно налаштування параметрів аналізу розвалу

Команда, яка призначена для аналізу частин «Analyze Particles» може підраховувати та вимірювати об'єкти в двійкових або порогових зображеннях. Аналіз може бути проведений за наявним виділенням окремої частини площі, або на всьому зображенні, якщо виділення немає. Дана функція втілюється шляхом сканування або виділення зображення до тих пір, поки не знайде край предмета, в результаті чого об'єкт окреслюється.

Дана функція містить в собі ряд наступних налаштувань:

- «Size» - частинки з заданим розміром (площею) поза діапазоном, зазначеним у цьому полі, ігноруються. Значення шуканих діапазонів можуть задаватись від 0 до нескінченності. Для просторово масштабованих зображень значення мають виражатись в квадратних одиницях фізичного розміру або в пікселях, якщо встановлено відповідний прапорець;

- «Circularity» - вибір даного пункту означає що частинки з круговою величиною, яка лежить поза межами заданого діапазону, також будуть ігноруватись;

- «Show» - це випадаюче меню, що визначає яке саме зображення (або накладення) має відображати ImageJ після виконання аналізу аналізу;

- «Nothing» - ні зображення, ні накладання не відображатимуться, також, аналізатор частинок відображатиме порожнє зображення, коли кількість виявлених частинок дорівнює нулю;

- «Outlines» - 8-бітне зображення, що містить пронумеровані контури вимірюваних частинок;

- «Bare Outlines» - 8-бітне зображення, що містить прості обриси вимірюваних частинок без підписів та контурів;

- «Masks» - 8-бітне двійкове зображення, що містить заповнені контури вимірюваних частинок;

- «Ellipses» - 8-бітне двійкове зображення, що містить еліпс кожної вимірюваної частинки;

- «Count Masks» - 16-бітне зображення, що містить заповнені контури пофарбованих вимірюваних частинок із значенням градацій сірого, що відповідає числу частинок;

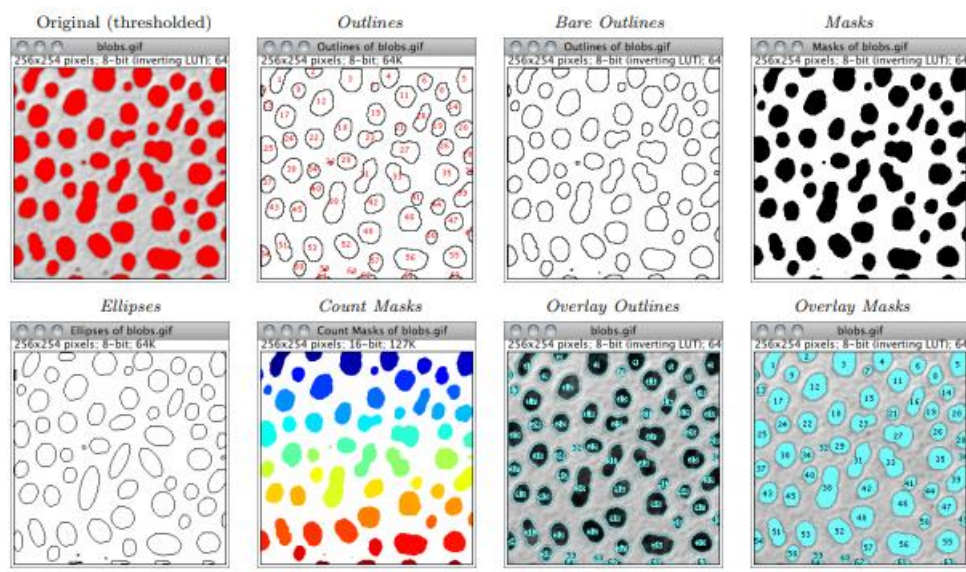
- «Overlay Outlines» - відображає контури вимірюваних частинок у накладенні зображення, видаляє раніше додані накладки;

- «Overlay Masks» - відображає заповнені контури вимірюваних частинок у накладанні зображення, видалення раніше доданого;

- «Clear Results» - якщо позначити цей пункт, усі попередні вимірювання, перелічені в таблиці результатів, будуть очищені;

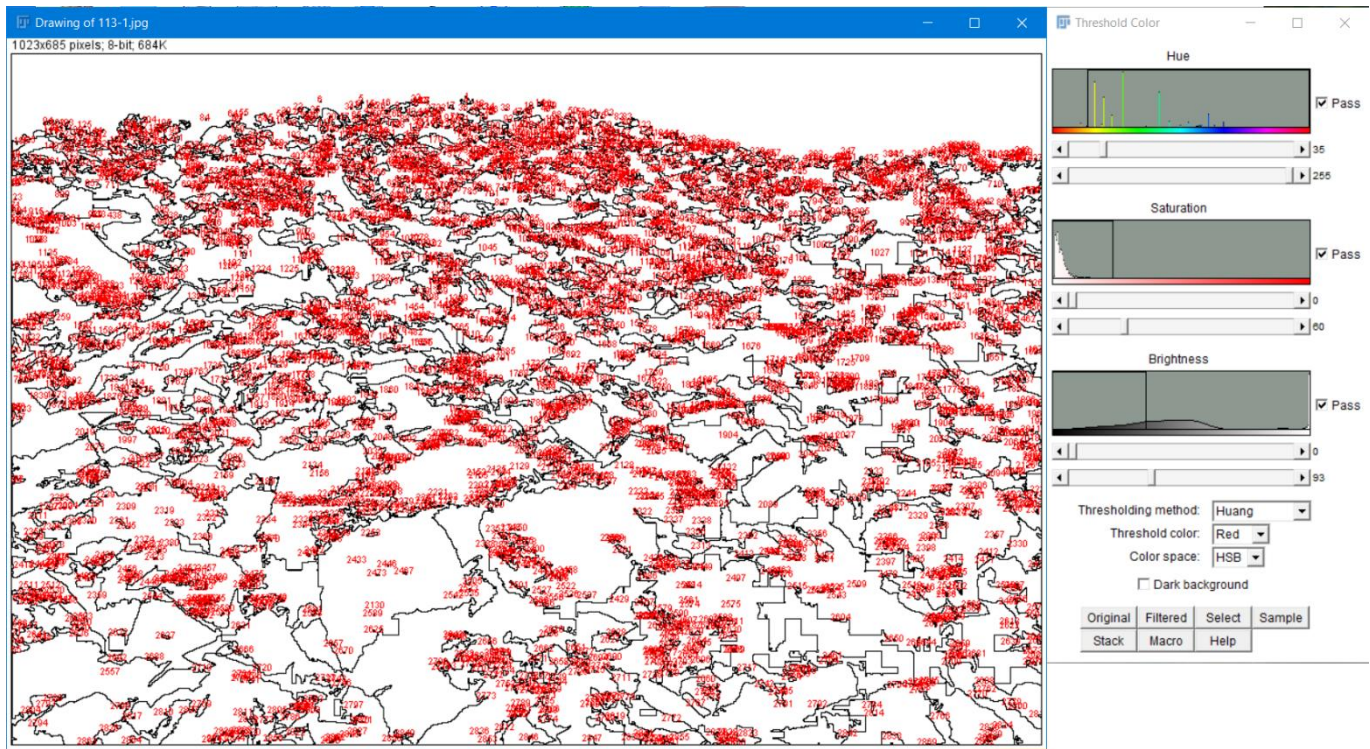
- «Summarize» - якщо позначено, кількість частинок, загальна площа частинок, середній розмір частинок та середнє значення всіх параметрів, перелічених у наборі вимірювань то діалогове вікно буде відображатиметься в окремій зведеній таблиці;

- «Include Holes» - якщо встановлено цей прапорець, будуть включені внутрішні отвори. ImageJ знаходитиме протяжність кожної частинки, простежуючи її зовнішній край.



Способи відображення аналізу зображення у ImageJ

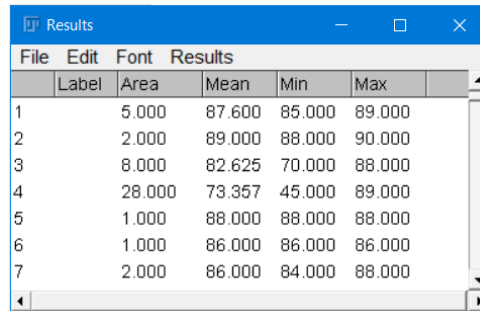
В ході виконання даного дослідження було використано спосіб відображення «Outline». Для виконання даного завдання можуть бути застосовані і інші способи.



Результат фотограмметричного аналізу розвалу зірваної породи

Результати вимірів відображаються у внутрішньому вікні додатку. Для зручності подальшого опрацювання даних, передбачена можливість їх імпортування у текстовий формат, який може бути відкритий і опрацьований за допомогою Microsoft Excel. В ході виконання «Analyze Particles» (аналізу окремих частин), додаток визначає наступні параметри:

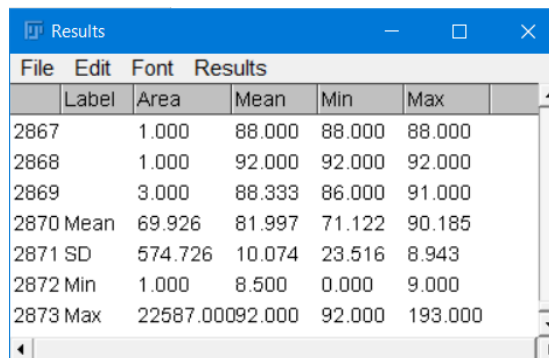
- «Lable» - внутрішній номер кожної з проаналізованих окремостей;
- «Area» - площа кожного окремого шматка породи у складі розвалу;
- «Mean» - середньо зважений розмір окремого шматка породи;
- «Min» - мінімальний лінійний розмір окремого шматка породи;
- «Max» - максимальний лінійний розмір окремого шматка породи;
- «X» - координати геометричного центру окремого шматка породи відносно горизонтальної осі;
- «Y» - координати геометричного центру окремого шматка породи відносно вертикальної осі.



	Label	Area	Mean	Min	Max
1		5.000	87.600	85.000	89.000
2		2.000	89.000	88.000	90.000
3		8.000	82.625	70.000	88.000
4		28.000	73.357	45.000	89.000
5		1.000	88.000	88.000	88.000
6		1.000	86.000	86.000	86.000
7		2.000	86.000	84.000	88.000

Приклад результатів, отриманих в ході виконання «Analyze Particles»

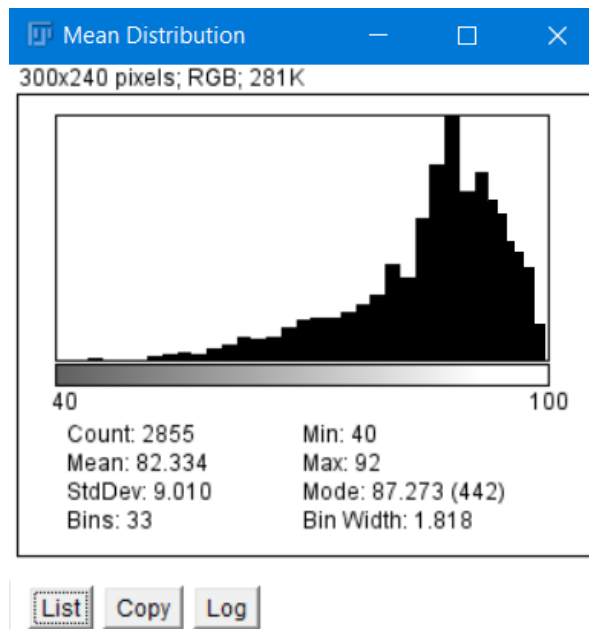
Окрім значень для кожного окремого шматка породи, додаток дає змогу виконати і загальний аналіз по масиву даних. Це може бути виконано за допомогою функції «Summarize». Для кожного стовпця в таблиці результатів обчислюється та відображається середнє значення, стандартне відхилення, мінімум і максимум значень у цьому стовпці.



	Label	Area	Mean	Min	Max
2867		1.000	88.000	88.000	88.000
2868		1.000	92.000	92.000	92.000
2869		3.000	88.333	86.000	91.000
2870	Mean	69.926	81.997	71.122	90.185
2871	SD	574.726	10.074	23.516	8.943
2872	Min	1.000	8.500	0.000	9.000
2873	Max	22587.000	92.000	92.000	193.000

Результати аналізу масиву даних, отриманні за допомогою «Summarize»

Одним зі способів аналізу отриманих даних є також і функція «Destribution». Вище вказана функція дозволяє збудувати та відобразити гістограму відносної частоти з даних вибраного стовпця таблиці результатів. Приклад аналізу відносної частоти шматків за значенням їх середніх лінійних розмірів показаний на рисунку.



Гістограма за середніми лінійними розмірами окремих шматків

Пост обробка отриманих значень відбувалась у наступній послідовності: спочатку було виконано приведення піксельних розмірів до дійсних, дана операція виконувалась також за допомогою «ImagJ», а безпосередньо сама конвертація даних виконувалась на базі фото, з розміщеною на ньому мірною рейкою; аналіз значень виконувався шляхом групування даних у необхідних діапазонах (0-200 мм, 201-300 мм, 301-400 мм, 401-500 мм, 501-1000 мм).

Практичне завдання

Студенти повинні розрахувати радіус дроблення гірської породи залежно від діаметру заряду, провести оцінку гранулометричного складу продуктів дроблення та проаналізувати вплив діаметра заряду на радіус дроблення та фракційний склад породи.

Таблиця 2.1

Вихідні дані для одного варіанту

Варіант	Тип ВР	Діаметр свердловини, мм	Висота колонки заряду ВР	Тип породи	Допустимі значення розмірів уламків, м	
					$X_{\min}$	$X_{\max}$
1	Амоніт №6ЖВ	165	8,25	Граніт	0,14	0,6
2	Амоніт АСД-2	180	9	Базальт	0,1	0,5
3	Тетрил	185	9,25	Діабаз	0,13	0,5
4	Пентрит	190	9,5	Риоліт	0,1	0,4
5	Аммогексіт	175	8,75	Вапняк	0,05	0,5
6	Грануліт АСД	195	9,75	Доломіт	0,18	0,6
7	Амоніт №10ЖВ	200	10	Гнейс	0,09	0,7
8	Грамоніт 79/21	205	10,25	Кварцит	0,15	0,5
9	Амонал гірничий	210	10,5	Антрацит	0,17	0,5
10	Гідротол	220	11	Кам'яне вугілля	0,13	0,7
11	Карбоамоніт	225	11,25	Граніт	0,07	0,5
12	Аммоніт 1ЖВ	230	11,5	Базальт	0,18	0,4
13	Аммоніт 2ЖВ	215	10,75	Діабаз	0,09	0,6
14	Гексогеніт	240	12	Риоліт	0,06	0,5
15	Амонал ЕП	245	12,25	Вапняк	0,16	0,6
16	Амоніт Е1	255	12,75	Доломіт	0,19	0,7
17	Амоніт М3	250	12,5	Гнейс	0,14	0,5
18	Амоніт ДС	270	13,5	Кварцит	0,18	0,6
19	Амоніт №6ЖВ	280	14	Антрацит	0,09	0,7
20	Амоніт АСД-2	295	14,75	Кам'яне вугілля	0,18	0,5
21	Тетрил	285	14,25	Граніт	0,2	0,5
22	Пентрит	290	14,5	Базальт	0,19	0,7
23	Аммогексіт	225	11,25	Діабаз	0,15	0,6

Варіант	Тип ВР	Діаметр свердловини, мм	Висота колонки заряду ВР	Тип породи	Допустимі значення розмірів уламків, м	
					X _{min}	X _{max}
24	Грануліт АСД	230	11,5	Риоліт	0,11	0,7
25	Амоніт №10ЖВ	215	10,75	Вапняк	0,12	0,7
26	Грамоніт 79/21	240	12	Доломіт	0,11	0,7
27	Амонал гірничий	165	8,25	Гнейс	0,13	0,6
28	Гідротол	180	9	Кварцит	0,09	0,7
29	Карбоамоніт	185	9,25	Антрацит	0,14	0,6
30	Аммоніт 1ЖВ	175	8,75	Кам'яне вугілля	0,11	0,7

Порядок виконання роботи:

1. Розрахунок радіуса дроблення (R, м) залежно від діаметра заряду (d, м) та інших параметрів:

$$R = K_r \cdot d^{\alpha} \cdot \left(\frac{W}{\rho}\right)^{\beta}$$

де: d – діаметр заряду (м);

K_r – коефіцієнт, що враховує властивості породи та вибухової речовини, значення цього коефіцієнта може становити: для твердих порід, таких як граніт чи базальт (близько 2,5–3,0), для більш м'яких порід, таких як пісковик або вапняк (1,5–2,0);

α – показник, що враховує вплив діаметра заряду, більших діаметрів заряду може бути від 1 до 1,2, для менших діаметрів близько 0,8;

W – енергія вибуху (Дж);

ρ – щільність породи (кг/м³);

β – показник, що враховує вплив енергії вибуху на радіус дроблення, якщо вибухова речовина має високу питому енергію, значення може бути 0,2–0,25), для менш потужних вибухових речовин значення є ближчим до 0,15.

2. Оцінка енергії вибуху (W , Дж):

$$W = q_v \cdot m$$

де: q_v – питома теплота вибуху вибухової речовини (Дж/кг);

m – маса заряду (кг).

3. Маса заряду розраховується за формулою (m , кг):

$$m = \rho_b \cdot V$$

де: ρ_b – щільність вибухової речовини (кг/м³);

V – об'єм заряду (м³).

4. Об'єм заряду (V , м³):

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot l_{\text{зар}}$$

де: $l_{\text{зар}}$ – довжина заряду (м).

5. Визначення середнього розміру уламків за допомогою формули Кузнєцова ($X_{\text{ср}}$, м):

$$X_{\text{ср}} = \frac{K \cdot m^{\frac{1}{6}}}{R^{\frac{1}{3}} \cdot (S^2 \cdot d)^{\frac{1}{3}}}$$

де: K – коефіцієнт, що залежить від типу гірської породи, є важливим параметром в емпіричних формулах для оцінки розмірів уламків гірської породи після підривання. Він враховує властивості гірської породи, її міцність,

тріщинуватість, а також параметри вибухових робіт. Для слабких або м'яких порід (як-от глинисті сланці, вапняк) значення K може бути в межах 0,5–0,7. Для середньої міцності порід (пісковики, доломіти) K може становити 0,7–1. Для міцних порід (граніт, базальт) значення K може бути 1–1,5 і більше;

m – загальна маса вибухової речовини (кг);

R – радіус дроблення (м);

S – середня відстань між свердловинами (м);

d – діаметр свердловини (м).

6. Для визначення середньої відстані між свердловинами (вона також називається кроком свердловин) використовується емпірична формула, яка враховує діаметр свердловини і тип породи. Найчастіше застосовують таку формулу (S , м):

$$S = C \cdot d$$

де: d – діаметр свердловини (м);

C – емпіричний коефіцієнт, що залежить від типу породи та умов буропідливних робіт (для міцних порід C може варіюватися в межах 20–40, для м'яких порід – 30–60).

7. Розподіл уламків за розмірами можна описати за допомогою функції розподілу Розіна-Раммлера:

$$P(X) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{X}{X_{\text{cp}}}\right)^j\right)$$

де: $P(X)$ – частка уламків розміром до X ;

X – розмір уламків (м);

j – показник, що характеризує рівномірність розподілу уламків, визначає, наскільки однорідно, або нерівномірно розподілені уламки після вибуху. Це

значення може варіюватися в залежності від кількох факторів, і його значення може набувати наступних величин:

- $j < 0,5$. Нерівномірний розподіл уламків, що означає наявність значної кількості великих та малих фрагментів.

- $0,5 < j < 0,8$. Помірна рівномірність розподілу, з деякою варіацією розмірів уламків.

- $j \geq 0,8$. Висока рівномірність розподілу, де фрагменти мають схожий розмір.

У формулі №7 позначення ($\exp$) – це скорочення від експоненційної функції, тобто це функція експоненти або показникова функція.

Експонента (або показникова функція) позначається як:

$$\exp(x) = e^x$$

де e – це математична константа, відома як основа натуральних логарифмів, що приблизно дорівнює 2.71828.

Отже, у даній формулі частина з ($\exp$) виглядає так:

$$\exp\left(-\left(\frac{X}{X_{\text{cp}}}\right)^j\right) = e^{-\left(\frac{X}{X_{\text{cp}}}\right)^j}$$

Це означає, що величина $P(X)$ визначається через відношення розміру уламка X до середнього розміру уламка X_{cp} , піднятого до степеня j . Чим більше це відношення, тим меншим буде значення $P(X)$, тобто більша частка уламків буде меншою за X .

Функція показує, що для малих уламків X , значення $P(X)$ близьке до 0 (майже всі уламки більші). А для великих уламків $P(X)$ наближається до 1 (більшість уламків менші за це значення).

Інформаційні таблиці

Таблиця 2.2

Характеристики ВР

Назва ВР	Швидкість детонації ВР (м/с)	Щільність заряджання ВР (кг/м³)	Теплота вибуху (МДж/кг)	Вихід газів (м³/кг)	Тиск газів ВР (МПа)
Амоніт №6ЖВ	3500	850	3,50	980	2,2
Амоніт АСД-2	3500	950	3,60	970	2,2
Тетрил	7500	1700	5,70	760	3,3
Пентрит	8300	1750	6,10	730	2,4
Аммогексіт	4200	1200	4,10	950	2,4
Грануліт АСД	3200	900	3,10	1000	2
Амоніт №10ЖВ	3500	850	3,70	980	2,2
Грамоніт 79/21	3300	870	3,40	960	2,1
Амонал гірничий	4000	1000	3,90	950	2,3
Гідротол	4700	1200	4,20	850	2,5
Карбоамоніт	3400	950	3,50	920	2,2
Аммоніт 1ЖВ	3100	880	3,20	980	2
Аммоніт 2ЖВ	3200	870	3,40	960	2,1
Гексогеніт	5200	1200	5,00	780	2,7
Амонал ЕП	3800	900	3,60	950	2,2
Амоніт Е1	3500	880	3,30	970	2,1
Амоніт МЗ	3400	870	3,40	950	2,1
Амоніт ДС	3700	900	3,50	930	2,2

Таблиця 2.3

Щільність порід

Тип породи	Значення, МПа	
	min	max
Граніт	2600	2800
Базальт	2700	3200

Тип породи	Значення, МПа	
	min	max
Діабаз	2800	3100
Риоліт	2300	2700
Вапняк	2400	2700
Доломіт	2700	2900
Гнейс	2600	2900
Кварцит	2600	2800
Антрацит	1400	1500
Кам'яне вугілля	1200	1500

Додаткові завдання за темою практичної роботи

Завдання 1. Аналіз впливу діаметра заряду на радіус дроблення породи

Використовуючи формулу для розрахунку радіусу дроблення, визначте радіус дроблення для ряду різних, довільно обраних діаметрів зарядів ВР. Проведіть порівняння отриманих даних з розрахунковими та сформулюйте висновок про взаємозв'язок цих двох параметрів.

Завдання 2. Дослідження впливу властивостей ВР на ефективність дроблення породи

Оберіть декілька ВР з таблиці 3.1 (що найменше 3) та на основі порівняння їх характеристик зробіть висновок про ступінь їх впливу на процес дроблення гірської породи. Врахуйте такі параметри як швидкість детонації, щільність заряджання, теплота вибуху та тиск газів.

Завдання 3. Визначення середнього розміру уламків за формулою Кузнєцова

За допомогою формули Кузнєцова обчисліть середній розмір уламків після вибуху для різних типів порід (граніт, базальт, вапняк). Проаналізуйте вплив щільності породи та параметрів вибуху на величину отриманих уламків.

Завдання 4. Аналіз гранулометричного складу розпушеної вибухом гірничої маси.

Виконати пошук та в деталях описати один з відомих методів прогнозування гранулометричного складу розпушеної вибухом гірничої маси. Опис має містити загальні відомості про суть обраного методу, аналіз його точності та порівняння переваг і недоліків.