

Я.О. Ляшок
С.В. Подкопасьв
Є.І. Конопелько
Ю.І. Сімонова
А.В. Петренко
К.Ю. Осипов
І.І. Булега
О.В. Агафонов

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ПРИ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Мета. Визначити умови забезпечення стійкості гірничих виробок в вуглепородному масиві при дії ударних навантажень.

Методи. Для досягнення поставленої мети були виконані аналітичні дослідження з використанням основних положень класичної механіки і теорії пружності. У лабораторних дослідженнях використовувалися експериментальні зразки із дробленої породи, яку поміщали в сталевий циліндр.

Результати. В ході проведення експериментальних досліджень вивчався вплив ударної сили і ударного імпульсу падаючого вантажу на відгук площини на піддатливій основі з неоднорідною, за розмірами шматків, роздробленої породи. Зафіксовано, що при постійній кількості енергії одиночного удару ($mgH = 14,7$ Дж), коли висота падіння вантажу зменшується в 3 рази (від $H = 1,5$ м до $H = 0,5$ м), а маса збільшується з $m = 1,0$ кг до $m = 3,0$ кг, величина ударної сили знижується на 50%. Із зростанням кількості енергії одиночного удару (з $mgH = 4,9$ Дж до $mgH = 44,1$ Дж) при однаковій висоті падіння, коли маса вантажу збільшується втричі, спостерігається зростання в 2,5 рази ударної сили. При постійній кількості енергії одиночного удару ($mgH = \text{const}$), зміщення площини на піддатливій основі з роздробленої породи залежить від величини ударного імпульсу падаючого вантажу.

Новизна. Доведено, що при обваленні бічних порід в вуглепородному масиві що вміщає вироблення, сила удару об поверхню пропорційна часу падіння породних блоків до часу їх ударної взаємодії з площиною.

Практична значимість. У глибоких вугільних шахтах, в результаті ведення гірничих робіт і ймовірності виникнення ударних навантажень від обвалень, для забезпечення стійкості гірничих виробок на виїмкових ділянках, доцільно застосування піддатливих опор або закладання виробленого простору дробленою породою, що дозволить забезпечити цілісність бічних порід у виробленому просторі.

Ключові слова: вуглепородний масив, динамічні навантаження, удар, обвалення бічних порід, піддатлива основа, дроблена порода

Вступ.

При видобуванні корисних копалин підземним способом, доводиться зважати на цілий ряд факторів, що призводять до підвищеної небезпеки для людей і об'єктів. Більш того, з ростом глибини гірничих робіт, в вуглепородному масиві починає проявлятися розшарування бічних порід, що при традиційному способі управління покрівлею повним обваленням, сприяє неконтрольованому зміщенню у виробленому просторі порушеної товщі. Виникнення таких ситуацій, сприяє прояву динамічних навантажень на покрівлю і підшву пласта, кріплення виробок, часто провокуючи обвалення бічних порід і завали штреків, а також травматизм гірників.

Детальний аналіз аварій, що відбулися на шахтах України в період 2000-2020 р.р. дозволяє зробити висновок про те, що в багатьох випадках основними причинами

травматизму від обвалів і обвалень, є прийняття хибних технічних рішень при виборі способу управління гірничим тиском в очисному забої або охорони гірничих виробок на виїмкових ділянках. Такі рішення ґрунтуються на недостатності знань, які розкривають природу і особливості обвалень розшарованої породної товщі. Очевидним є те, що вивчення природи і особливостей обвалень, як різновиду небезпечних проявів гірничого тиску, їх вплив на стан бічних порід і на основі цього, розробка рішень, спрямованих на підвищення стійкості гірничих виробок, сприятиме створенню умов безпечного ведення гірничих робіт у вугільній шахті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомо [1,2], що прояви гірничого тиску у виробках залежать від сукупного

впливу багатьох гірничо-геологічних факторів, до яких першочергово відносять напружений стан осадових гірничих порід і їх фізико-механічні властивості. Як показує аналіз результатів досліджень [1,3,4,25], характер небезпечних проявів гірничого тиску у виробках, визначається не тільки напруженим станом бічних порід, а й специфікою формування вуглепородного масиву, що обумовило непружне деформування при об'ємному стисненні і здатність деформуватися і руйнуватися при розвантаженні.

У вуглепородному масиві що вміщає вироблення, наявність зон розвантаження сприяє розшаруванню бічних порід, їх прослизанню на границях стикання під- або надработаних шарів. На параметри і динаміку утворення таких зон, впливає спосіб управління покрівлею в очисному забої [2]. При поверховому способі підготовки крутих вугільних пластів і способі управління покрівлею повним обваленням, в результаті ведення гірничих робіт, щорічно відбуваються обвалення бічних порід. Обвалення бічних порід є неординарними і залежать від багатьох факторів. Причому, в одних випадках, обвалення поширюються на призабійний простір лави, часто по всій її довжині, що сприяє часткового або повного завалу очисного забою. В інших випадках, ці явища відбуваються за лавою і призводять тільки до завалу підготовчих виробок. Очевидним є те, що в реальних умовах розробки крутих вугільних пластів, через відсутність з боку виробленого простору ефективного підпору покрівлі, не завжди забезпечується стійкий стан виробок. Це збільшує ймовірність їх завалу при обваленнях [3].

Дослідженнями ДонУГІ і ДонНТУ [4,5] встановлено, що застосування закладання виробленого простору, як способу управління покрівлею в очисному забої, запобігає розвитку зрушень розшарованої товщі в вуглепородному масиві і створює зони стійкості порід позаду очисного забою по довженні виїмкової ділянки. Закладальний масив, на який спираються породи покрівлі, забезпечуючи їх плавний прогин над виробленим простором, усуває негативні явища, що поширюються в товщі в результаті обвалення [6]. При цьому, динамічні навантаження, які проявляються в результаті ударної дії на

конструкцію, частково нейтралізуються за рахунок піддатливої основи [3,7,8].

Виходячи з результатів виконаного аналізу, при розробці крутих вугільних пластів на глибоких горизонтах, в результаті розшарування вуглепородної товщі, небезпека виникнення аварійних ситуацій виходить від раптових обвалення бічних порід. При вирішенні проблеми стійкості гірничих виробок в таких умовах, слід застосовувати охоронні споруди з необхідним ступенем жорсткості, що дозволить обмежити зміщення бічних порід вуглепородного масиву.

Постановка завдання досліджень. Визначити умови для забезпечення стійкості гірничих виробок у виробленому просторі вуглепородного масиву при дії ударних навантажень.

Методи і матеріали досліджень. У цьому дослідженні при аналізі процесів впливу удару на експериментальні зразки, використовуються відомості про їх поведінку при короткочасних динамічних впливах, а так само з вивчення відгуку площини з піддатливою основою на ударний імпульс.

Ґрунтуючись на результатах [15-19], в цьому дослідженні для піддатливої основи використовується дроблена порода різного гранулометричного складу. В реальних умовах розробки крутих вугільних пластів, піддатливі охоронні споруди із дробленої породи обмежують зміщення бічних порід і перешкоджають їх обвалення в виробку [1,25].

Розглянемо задачу про удар сталеві кулі по жорсткій площині. Куля має масу m (кг). Куляста форма ударника забезпечує центральний удар. Перед ударом кулю піднімають на висоту H (м) (рис.1). У крайній верхній точці I куля мала швидкість $V_0 = 0$.

У даній системі (рис.1), на підставі теореми про зміну кількості руху [10,11] можна вважати, що

$$mV = \int_0^{t_p} mgdt, \quad (1)$$

де mg - сила тяжіння сталеві кулі, H ,
 t_p - час падіння кулі, с.

Вважаємо, що сила, яка діє на кулю при його падінні приймається постійною, а тому швидкість кулі в момент удару дорівнює [8,9]

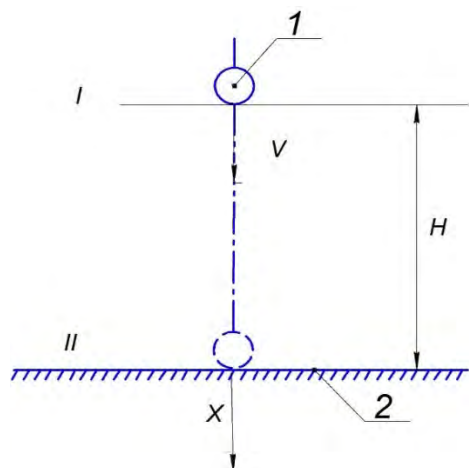


Рис.1. Розрахункова схема до розв'язання задачі про удар сталеві кулі по площині: 1 – сталева куля; 2 – площина; H – висота падіння, м.

$$V = gt_p. \quad (2)$$

Припустимо, що після удару куля відскакує від поверхні зі швидкістю V_1 . Тоді зміна кількості руху кулі за час удару, визначиться з рівняння [11,12]

$$mV_1 - mV = \int_0^{t_{y\partial}} P_{y\partial}(t) dt, \quad (3)$$

де $P_{y\partial}$ – ударна сила, Н.

$t_{y\partial}$ – тривалість удару, с.

Відомо [9,10,11], що для характеристики механічного стану при русі тіла, використовується фізична величина – імпульс $S_{y\partial}$ (кг · м / с).

Для модельованої системи, виходячи із законів Ньютона, справедливо рівняння [9,26]

$$\frac{d}{dt}(mV) = P_{y\partial}. \quad (4)$$

Аналізуючи вирази (3), (4) і враховуючи те, що $V_1 = -k_b V$, зміну імпульсу тіла можна представити у вигляді виразу, як у [26,27]

$$mV(1 + k_b) = P_{y\partial} t_{y\partial}, \quad (5)$$

де k_b – коефіцієнт відновлення швидкості при ударі.

Визначимо величину ударної сили. Для цього використовуємо вираз (5) і визначимо

$$P_{y\partial} = mV \frac{k_b + 1}{t_{y\partial}}. \quad (6)$$

Значення коефіцієнта k_b визначається як в [21]

$$k_b = \frac{V_1}{V}. \quad (7)$$

У разі, коли ударна площина абсолютно жорстка, а удар абсолютно пружний, $k_b = 1$ і тоді вираз (6) набуває вигляду

$$P_{y\partial} = \frac{2mV}{t_{y\partial}} \quad (8)$$

При абсолютно непружному ударі, коли $k_b = 0$

$$P_{y\partial} = \frac{mV}{t_{y\partial}} \quad (9)$$

Підставляючи (2) в (8) і (2) в (9), після відповідних перетворень отримаємо:

- для абсолютно пружного удару

$$P_{y\partial} = 2mg \frac{t_p}{t_{y\partial}}; \quad (10)$$

- для абсолютно непружного удару

$$P_{y\partial} = mg \frac{t_p}{t_{y\partial}} \quad (11)$$

Час падіння кулі t_p (с) визначимо з рівняння його руху

$$m\ddot{x}(t_p) = mg \quad (12)$$

Інтегруючи (12) двічі при нульових початкових умовах, отримаємо

$$x_{ш}(t_p) = \frac{gt_p^2}{2}. \quad (13)$$

Прирівнюючи $x_{ш}(t_p) = H$, знаходимо час падіння кулі

$$t_p = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (14)$$

Вважаємо, що після удару кулі о площину, рух в модельованій системі відбувається без тертя і описується гармонійними коливаннями. Загальне рішення має вигляд

$$\sum F_x = P_{y\partial} - F$$

або

$$\ddot{x} + k^2 x = g. \quad (15)$$

Рівняння (15), згідно з [13,14], можна записати у вигляді

$$x = B_1 \cos kt + B_2 \sin kt + \frac{m_c g}{c}. \quad (16)$$

Проінтегрувавши (16) за часом, отримаємо

$$\dot{x} = -B_1 k \sin kt + B_2 k \cos kt. \quad (17)$$

Постійні інтегрування B_1 і B_2 визначимо з початкових умов руху, коли при

$$t = 0, x = x_0 \text{ і } \dot{x} = \dot{x}_0$$

$$B_1 = x_0 = \frac{m_c g}{c}, \quad (18)$$

і

$$B_2 = \frac{\dot{x}_0}{k} = \frac{\sqrt{2gH}}{k}, \quad (19)$$

де k - власна частота коливань, $1/\text{с}$.Величина k визначається за виразом [8]

$$k = \sqrt{\frac{g}{x}} \quad (20)$$

З урахуванням (18) і (19), вираз (16) набуває вигляду

$$x = \frac{m_c g}{c} \cos kt + \frac{\sqrt{2gH}}{k} \sin kt + \frac{m_c}{c},$$

або

$$x = a \sin(kt + \varphi), \quad (21)$$

де φ - початкова фаза.Визначимо тривалість удару $t_{\text{уд}}$ (с). Очевидним є те, що за умови коли

$$\sin(kt_{\text{уд}} + \varphi) = 1 \quad (22)$$

і

$$kt_{\text{уд}} + \varphi = \frac{\pi}{2}, \quad (23)$$

тривалість удару буде максимальною. Тоді з умови (23) знаходимо

$$t_{\text{уд}} = \frac{1}{k} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right). \quad (24)$$

Величину початкової фази φ можна визначити як в [13,14] за висловом

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{xk}{V} \quad (25)$$

Для визначення сили опору F (Н) закладального матеріалу динамічним навантаженням, розглянемо розрахункову схему, в якій вісь OO є рівнем відліку потенційної енергії (рис.2).

Закон збереження механічної енергії дозволяє знаходити рішення динамічних задач [7,9]. У цьому дослідженні, закон збереження механічної енергії використовуємо для визначення енергетичного балансу модельованої системи

$$A = W_I - W_{II},$$

де A - робота зовнішніх сил, Дж, W_I - повна механічна енергія кулі в положенні I, Дж; W_{II} - повна механічна енергія кулі в положенні II, Дж.

Розглянемо дві різні моделі зіткнень між тілами- модель абсолютно пружного удару і модель абсолютно непружного удару.

При абсолютно пружному ударі, поряд з законом збереження імпульсу, виконується закон збереження механічної енергії [7,9,21].

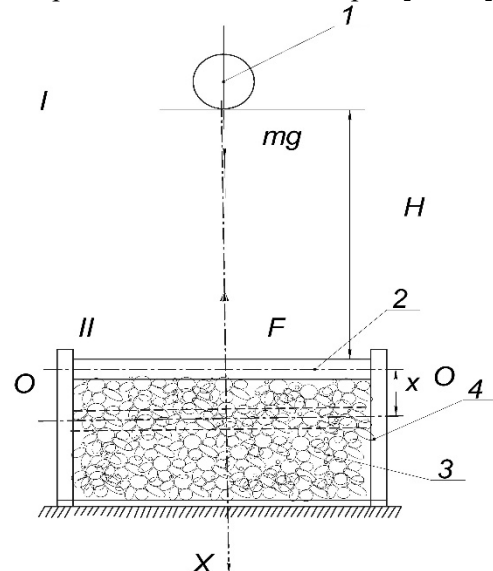


Рис.2. Розрахункова схема для визначення величини ударної сили Руд (Н) сталевій кулі по площині з піддатливою основою і сили опору F (Н) закладального матеріалу динамічним навантаженням: 1- стальова куля; 2- площина; 3- піддатлива основа- закладний матеріал із дрібної породи; 4- сталевий циліндр: H - висота падіння, m ; x - переміщення площини після удару, m ; F - реакція піддатливої основи, N .

У разі непружного удару, робота A (Дж) пов'язана з переміщенням кулі та дорівнює

$$A = F \cdot x \quad (26)$$

де F - опір піддатливої основи, N .

У положенні I куля володіє енергією

$$W_I = \frac{mV^2}{2} + mg(H + x) \quad (27)$$

У положенні II, кінетична і потенційна енергії, відносно осі OO , дорівнюють нулю, тобто

$$W_{II} = 0.$$

Підставляючи встановлені вирази для роботи і повної енергії, після відповідних перетворень отримаємо вираз для визначення величини опору піддатливої основи, коли

$$F \cdot x = W_I,$$

а

$$F = \frac{mV^2}{2x} + \frac{mg}{x}(H+x) \quad (28)$$

Досліджуємо в якості податливої основи дроблену породу, яка представлена у вигляді неоднорідного закладального матеріалу з розміром фракцій (0.1-5) мм, крупного матеріалу, що має розмір фракцій (4-5) мм і дрібного матеріалу, з розміром фракцій (0.1-1) мм.

Гранулометричний склад дробленої породи, насипна щільність $\rho_{н.п.}$ (кг/м³) та пустотність M (%), визначалися відповідно методики [20]. В табл.1 наведені характеристики закладального матеріалу із дробленої породи різного гранулометричного складу, яке використовувалась в експериментальних зразках.

Таблиця 1- Характеристика закладального матеріалу із дробленої породи різного гранулометричного складу

Розмір фракції, мм	Насипна щільність $\rho_{н.п.}$ (кг/м ³)	Пустотність M , %
0,1-5	1790	23
4-5	1680	27
0,1-1	1910	17

Вплив ударних навантажень на площину з піддатливою основою досліджували в сталевому циліндрі висотою $h_{ц}=0,075$ м і діаметром $d_{ц}=0,075$ м. Для цього циліндр заповнювали дробленою породою певної фракції, накривали металевою кришкою і встановлювали на спеціальний стенд для проведення дослідів (рис.3).

Експерименти проводилися наступним чином. З висоти H (м) ($H=0,5$ м; $0,75$ м; $1,0$ м і $1,5$ м) на експериментальні зразки скидали металеву кулю масою $m = 1,0$ кг, $1,5$ кг, $2,0$ кг і $3,0$ кг. Після удару фіксували величину x (м) переміщення металевої кришки-площини. На підставі цього встановлювали величину стиснення закладального матеріалу після непружного удару та жорсткості піддатливої основи.

Жорсткість c (Н/м) піддатливої основи із дробленої породи різного гранулометричного складу визначали виходячи із закону Гука [9]

$$c = \frac{P_{уд}}{x} \quad (29)$$

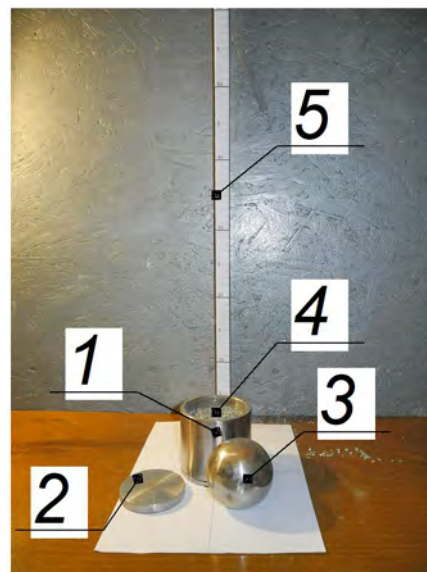


Рис.3. Фото експериментального обладнання для визначення величини ударних навантажень:

- 1- сталевий циліндр; 2- площина; 3- сталева куля;
4- піддатлива основа із дробленої породи;
5- мірна лінійка

Оцінюючи вплив ударних навантажень на відгук площини з піддатливою основою, в цьому дослідженні використовувалося компресійне стиснення закладального матеріалу. Компресійні випробування є зручним інструментом моделювання поведінки закладальних масивів при ударних навантаженнях для визначення фізичних властивостей експериментальних зразків. Володіючи певними фізико-механічними особливостями, піддатлива основа із дробленої породи виконує функцію обмежувача зміщень вдараємої площини.

Результати досліджень.

При виконанні експериментів, під час зіткнення тіл, між ними діяли короточасні ударні сили. Явище повторного удару вільно летючим сталевим тілом (кулею), що спостерігається при абсолютно пружному ударі при проведенні дослідів не зафіксовано. Результати досліджень отримані при реєстрації абсолютно непружного удару співударяючих тіл.

На рис.4,5 представлені графіки зміни жорсткості c (Н/м) піддатливої основи і опору F (кН) закладального матеріалу від величини ударної сили Руд (H) при падінні вантажу масою m (кг) з висоти H (м).

З рис.4 видно, що із зменшенням висоти падіння від $H=1,5$ м до $H=0,5$ м і збільшенні маси вантажу від $m=1,0$ кг до $m=3,0$ кг, відбувається збільшення жорст-

кості c (Н/м) піддатливої основи і зменшення опору F (кН) закладального матеріалу ударним навантаженням.

Для дробленої породи, розмір фракції якої 0,1-5 мм, при збільшенні маси падаючого вантажу в 3 рази з одночасним зменшенням висоти падіння, ударна сила збільшується від $P_{уд}=169$ Н до $P_{уд}=270$ Н при зменшенні опору закладального матеріалу дії ударної сили з $F=7,2$ кН до $F=6,2$ кН (рис. 4а).

Для дробленої породи крупної фракції (4-5 мм), ударна сила збільшується з $P_{уд}=146$ Н до $P_{уд}=265$ Н при зменшенні опору

закладального матеріалу від $F=6,7$ кН до $F=5,9$ кН (рис. 4б). У всіх розглянутих випадках жорсткість піддатливої основи знаходяться в діапазоні значень $c=(0,037-0,056) \cdot 10^6$ Н/м (рис. 4а, б).

Для закладального матеріалу дрібної фракції (0,1-1 мм) зі збільшенням ударної сили від $P_{уд}=279$ Н до $P_{уд}=429$ Н, жорсткість піддатливої основи знаходиться в діапазоні значень $c=(0,18-0,22) \cdot 10^6$ Н/м, а опір F (кН) закладального матеріалу ударним навантаженням зменшується (рис. 4в).

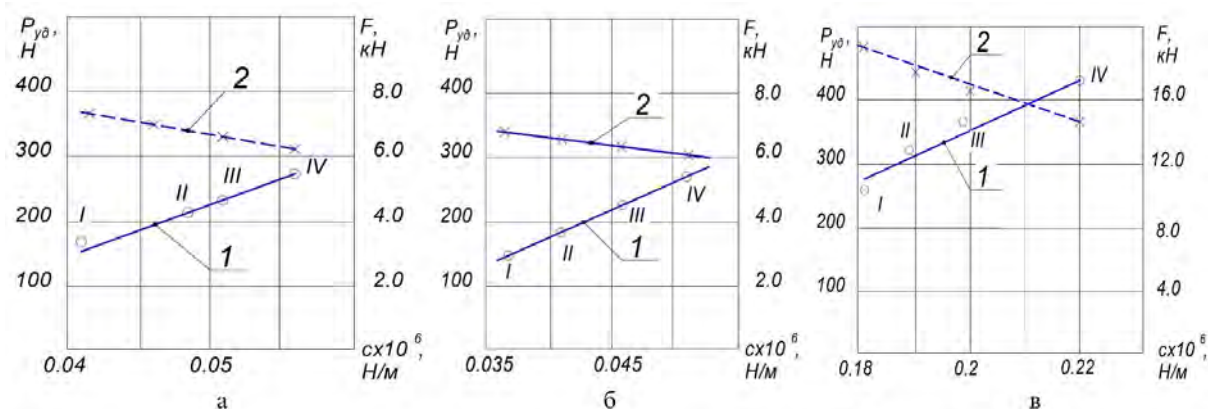


Рис.4. Графіки зміни жорсткості c (Н / м) піддатливої основи із дробленої породи різного гранулометричного складу та опору F (кН) закладального матеріалу динамічним навантаженням від величини ударної сили $P_{уд}$ (Н) після падіння з висоти H (м) вантажу маси m (кг): а- розмір фракції дробленої породи 0,1-5 мм; б-розмір фракції дробленої породи 4-5 мм; в- розмір фракції дробленої породи 0,1-1 мм: I- $m=1,0$ кг, $H=1,5$ м; II- $m=1,5$ кг, $H=1,0$ м; III- $m=2,0$ кг, $H=0,75$ м; IV- $m=3,0$ кг, $H=0,5$ м; 1 $P_{уд}$ (Н); 2 F (Н).

При падінні вантажу різної маси m (кг) з висоти $H=1,0$ м, коли піддатлива основа складається з породи розмір фракції якої (0,1-5) мм або (4-5) мм, зафіксовано зростання ударної сили до значень $P_{уд} \approx 360$ Н і опору закладального матеріалу ударним навантаженням до значень $F=10,9$ кН в діапазоні зміни жорсткості $c=(0,34-0,67) \cdot 10^6$ Н/м (рис. 5 а, б).

Зі збільшенням ударної сили від $P_{уд}=236$ Н до $P_{уд}=607$ Н при падінні вантажу маси m (кг) з висоти $H=1,0$ м на піддатливу основу, яка складена із дробленої породи дрібної фракції (0,1-1 мм), жорсткість збільшується від $c=0,17 \cdot 10^6$ Н/м до $c=0,3 \cdot 10^6$ Н/м з одночасним зростанням величини F (кН) (рис. 5в).

В умовах абсолютно непружного удару, коли дроблена порода мала насипну щільність $\rho_{н.п.}=1910$ кг/м³, що відповідало дрібної фракції (0,1-1) мм закладального

матеріалу, були зафіксовано максимальні значення c (Н/м) жорсткості піддатливої основи. В таких умовах реєструвалися максимальні значення ударної сили P (Н) і опору F (Н) закладного матеріалу динамічним навантаженням (рис. 5в).

Виходячи з цього, подальші експерименти були виконані на зразках із дробленої породи з розміром фракцій (0,1-5) мм. Дані експериментальних досліджень визначення величини зміщення X (м) площини на піддатливій основі при падінні вантажу різної маси m (кг) з висоти H (м) з урахуванням кількості енергії одиничного удару mgH (Дж) представлені в табл. 2.

У таблиці 3 наведені експериментальні дані ударної сили $P_{уд}$ (Н), ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с), часу падіння t_p (с) і тривалості удару $t_{уд}$ (с), які встановлені в досліді при скиданні сталеві кулі маси m (кг) з висоти H (м).

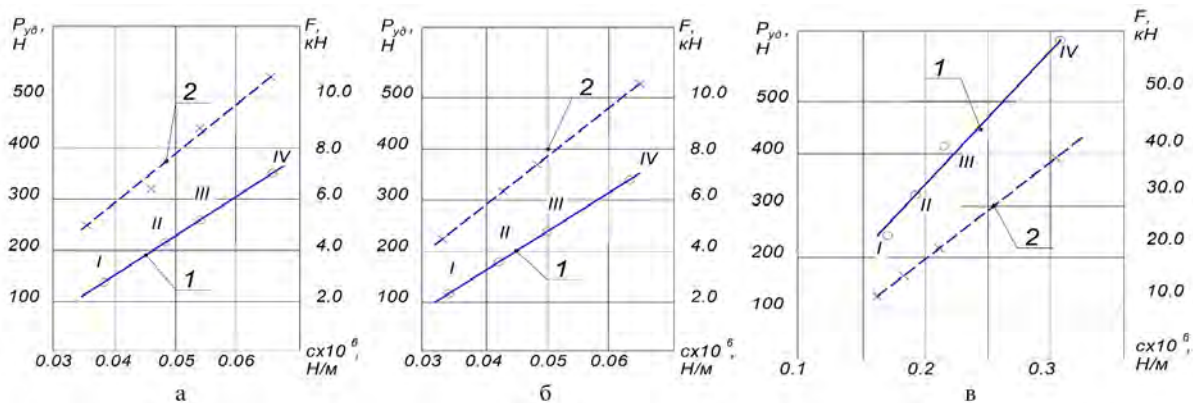


Рис.5. Графіки зміни жорсткості c (Н / м) піддатливої основи із дробленої породи різного гранулометричного складу та опору F (кН) закладного матеріалу динамічним навантаженням від величини ударної сили P (Н) після падіння з висоти $H = 1,0$ м вантажу маси m (кг): а- фракція дробленої породи 0,1-5 мм; б-розмір фракції дробленої породи 4-5 мм; в- розмір фракції дробленої породи 0,1-1 мм: I- $m = 1,0$ кг; II- $m = 1,5$ кг; III- $m = 2,0$ кг; IV- $m = 3,0$ кг; 1- $P_{уд}$ (Н); 2- F (Н).

Таблиця 2 – Дані експериментальних досліджень визначення величини зміщення X (м) площини на піддатливій основі при падінні вантажу маси m (кг) з висоти H (м) з урахуванням кількості енергії одиничного удару mgH (Дж).

Висота падіння вантажу H , м	Маса падаючого вантажу							
	$m=1,0$ кг		$m=1,5$ кг		$m=2,0$ кг		$m=3,0$ кг	
	mgH , кг	X , м	mgH , кг	X , м	mgH , кг	X , м	mgH , кг	X , м
1,5	14,7	0,0041	22	0,0046	29,4	0,0051	44,1	0,0058
1,0	9,8	0,0038	14,7	0,0043	19,6	0,0048	29,4	0,0054
0,75	7,3	0,0036	11	0,0041	14,7	0,0045	22,05	0,0051
0,5	4,9	0,0031	7,3	0,0038	9,8	0,0042	14,7	0,0048

Таблиця 3 – Дані експериментальних досліджень визначення величини ударної сили $P_{уд}$ (Н), ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с), часу падіння t_p (с) і тривалості удару $t_{уд}$ (с) при скиданні сталевій кулі маси m (кг) з висоти H (м)

H , м	Маса падаючого вантажу m (кг)															
	$m=1,0$ кг				$m=1,5$ кг				$m=2,0$ кг				$m=3,0$ кг			
	$P_{уд}$	$S_{уд}$	t_p	$t_{уд}$	$P_{уд}$	$S_{уд}$	t_p	$t_{уд}$	$P_{уд}$	$S_{уд}$	t_p	$t_{уд}$	$P_{уд}$	$S_{уд}$	t_p	$t_{уд}$
1,5	169	5,4	0,55	0,032	239	8,1	0,55	0,034	303	10,8	0,55	0,036	426	16,2	0,55	0,038
1,0	143	4,4	0,45	0,031	202	6,6	0,45	0,033	255	8,8	0,45	0,035	360	13,2	0,45	0,037
0,75	127	3,8	0,39	0,03	179	5,7	0,39	0,032	228	7,6	0,39	0,034	321	11,5	0,39	0,036
0,5	112	3,1	0,31	0,028	152	4,7	0,31	0,031	193	6,2	0,31	0,033	270	9,4	0,31	0,035

На рис. 6, 7 представлені графіки зміни величини ударної сили $P_{уд}$ (Н) і ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) падаючого тіла маси m (кг) з різної висоти H (м) з урахуванням кількості енергії одиничного удару mgH (Дж).

Для прикладу розглядається падіння вантажу масою $m=1,0$ кг. З рис. 6 видно, що при збільшенні висоти падіння від $H=0,5$ м до $H=1,5$ м, з ростом кількості енергії одиничного удару від $mgH=4,9$ Дж до $mgH=14,7$ Дж, ударна сила $P_{уд}$ (Н) збільшується на 50% (рис. 6а). Зі збільшенням швидкості V (м/с) і часу падіння

t_p (с) вантажу (рис. 6б), збільшується час удару $t_{уд}$ (с) і в 1,75 рази величина ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) (рис. 6в).

Для експериментів, коли змінювалася маса падаючого тіла m (кг), а висота обвалення залишалася незмінною і відповідала $H=1,5$ м, були отримані залежності, зображені на рис. 7. Зафіксовано, що зі збільшенням маси падаючого тіла від $m=1,0$ кг до $m=3,0$ кг і кількості енергії одиничного удару від $mgH=14,7$ Дж до $mgH=44,1$ Дж, ударна сила $P_{уд}$ (Н) збільшується в 2,5 рази (рис. 7а), а ударний імпульс в 3 рази (рис. 7б).

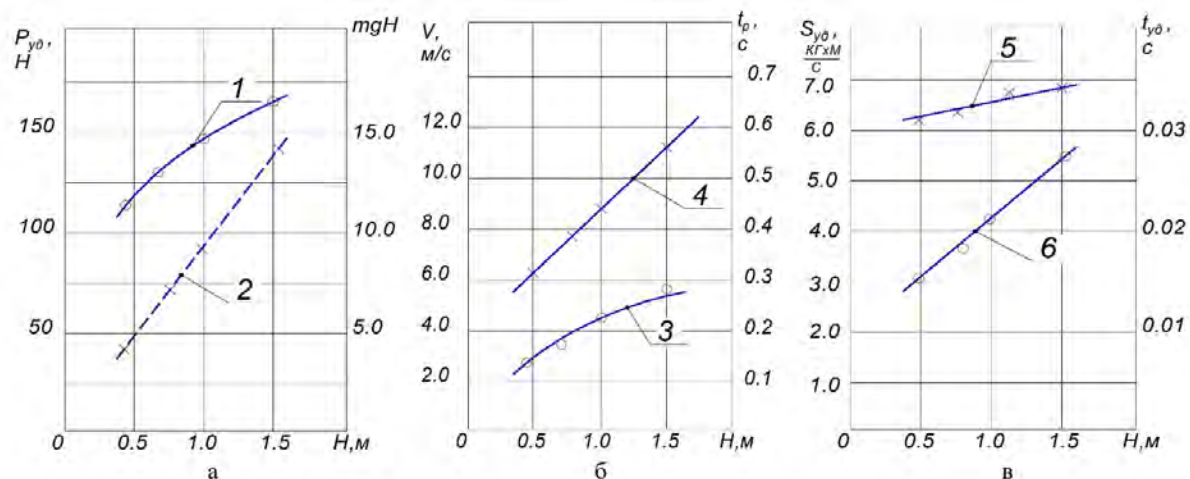


Рис.6. Графіки зміни величини ударної сили P (Н) і ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) падаючого тіла масою $m = 1,0$ кг з різної висоти H (м) з урахуванням кількості енергії одиничного удару mgH (Дж), швидкості V (м/с) і часу падіння t_p (с), а також тривалості удару $t_{уд}$ (с); 1- $P_{уд}$ (Н); 2- mgH (Дж); 3- V (м/с); 4- t_p (с); 5- $t_{уд}$ (с); 6- $S_{уд}$ (кг·м / с).

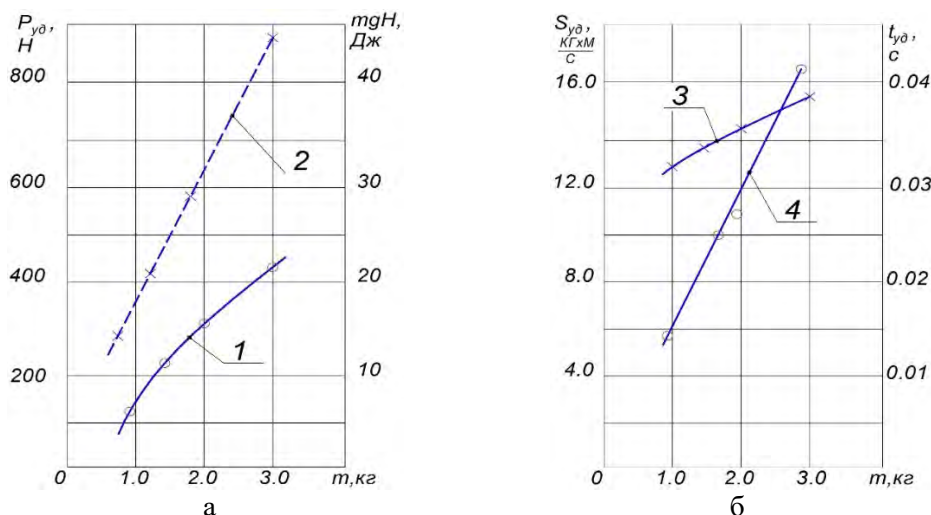


Рис.7. Графіки зміни величини ударної сили $P_{уд}$ (Н) і ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) падаючого тіла різної маси m (кг) з висоти $H = 1,5$ м з урахуванням кількості енергії одиничного удару mgH (Дж) і тривалості удару $t_{уд}$ (с): 1- $P_{уд}$ (Н); 2- mgH (Дж); 3- $t_{уд}$ (с); 4- $S_{уд}$ (кг·м/с).

На рис. 8 представлені графіки зміни жорсткості c (Н/м) піддатливої основи від величини ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) падаючого тіла маси m (кг) з висоти H (м).

З експериментально встановлених залежностей видно, що зі збільшенням ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) падаючого тіла, жорсткість c (Н/м) піддатливої основи збільшується (рис. 8). Причому, при постійній висоті падіння, коли $H=1,0$ м, зафіксовано лінійне зростання жорсткості піддатливої основи c (Н/м) від величини ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) (рис. 8, залежність 1), а зі збільшенням висоти падіння, простежується зміна реєстрованих величин по параболічній залежності (рис. 8, залежність 2).

В ході виконання експериментів вивчався вплив відгуку поверхні x (м) на піддатливій основі від ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) падаючого тіла, з урахуванням кількості енергії одиничного удару mgH (Дж). За результатами досліджень були побудовані залежності (рис. 9). Встановлено, що зі збільшенням кількості енергії одиничного удару від $mgH=9,8$ Дж до $mgH=29,4$ Дж, коли висота падіння не змінюється ($H=1,0$ м), зі збільшенням маси падаючого вантажу від $m=1,0$ кг до $m=3,0$ кг зміщення площини збільшується від $x=0,0038$ м до $x=0,0048$ м при одночасному зростанні ударного імпульсу від $S_{уд}=4,4$ кг·м/с до $S_{уд}=13,2$ кг·м/с (рис. 9).

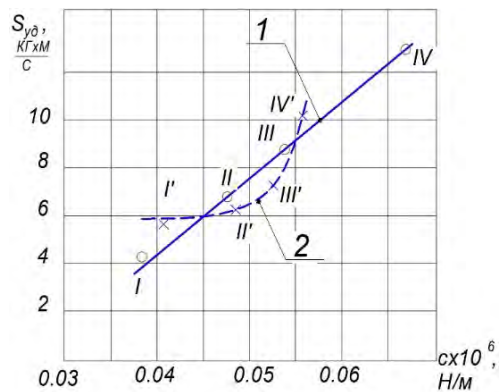


Рис.8. Графіки зміни жорсткості c (Н/м) піддатливої основи (розмір фракції дробленої породи 0,1-5 мм) від величини ударного імпульсу $S_{уд}$ (кг·м/с) падаючого тіла маси m (кг) з висоти H (м): 1- коли висота падіння дорівнює $H = 1,0$ м; 2- висота падіння змінюється; I- $m = 1,0$ кг; II- $m = 1,5$ кг; III- $m = 2,0$ кг; IV- $m = 3,0$ кг; I'- $m = 1,0$ кг, $H = 1,5$ м; II'- $m = 1,5$ кг, $H = 1,0$ м; III'- $m = 2,0$ кг, $H = 0,75$ м; IV'- $m = 3,0$ кг, $H = 0,5$ м.

При постійній кількості енергії одиничного удару, коли $mgH=14,7$ (Дж), зі зменшенням висоти падіння вантажу від $H = 1,5$ м до $H=0,5$ м, величина ударного імпульсу збільшується з $S_{уд}=4,4$ (кг·м/с) до $S_{уд}=9,4$ (кг·м/с) (рис. 9б).

На рис.10 представлені графіки зміни величини ударної сили $P_{уд}$ (Н) падаючого вантажу маси m (кг) з висоти H (м) на піддатливу основу від відношення часу падіння t_p (с) до тривалості удару $t_{уд}$ (с).

З наведених залежностей видно, що зі збільшенням відносини $t_p/t_{уд}$, величина ударної сили $P_{уд}$ (Н) змінюється за лінійною залежністю (рис.10). В експериментах, коли висота падіння збільшується, а маса вантажу дорівнює $m=1,0$ кг, зі збільшенням відносини $t_p/t_{уд}$, величина ударної сили лінійно зростає від $P_{уд}=112$ Н до $P_{уд}=169$ Н, (фіксується збільшення ударної сили на 50%) (рис. 10а). В експериментах, коли висота падіння не змінюється ($H=1,5$ м), а маса вантажу зменшується з $m=3,0$ кг до $m=1,0$ кг, тобто залишається постійною, зі збільшенням відносини $t_p/t_{уд}$, величина ударної сили зменшується в 2.5 рази. При цьому має місце спадна лінійна зміна ударної сили від $P_{уд}=426$ Н до $P_{уд}=169$ Н (рис. 10 б).

При розгляді результатів досліджень слід зазначити, що динамічні навантаження завжди небезпечніше статичних і є частиною аварійних ситуацій. Задачі про зіткненні тіл з малими швидкостями, які фіксувалися в

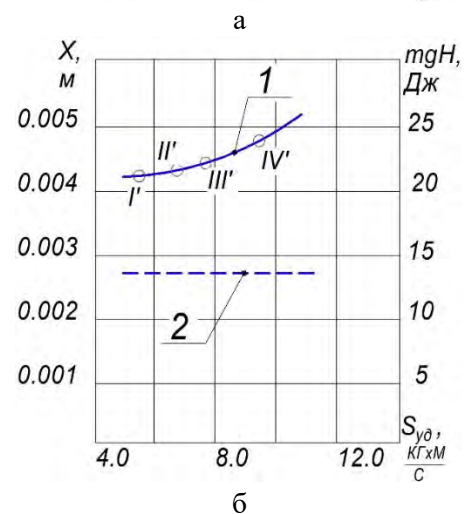
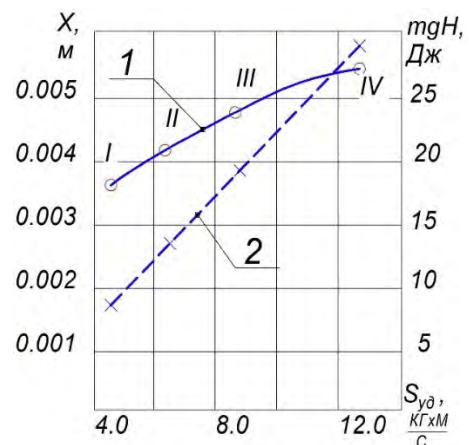


Рис.9. Графіки зміни величини зміщення X (м) площини з піддатливою основою від величини ударної сили $S_{уд}$ (кг·м/с) падаючого вантажу маси m (кг) з висоти H (м) з урахуванням кількості енергії одиничного удару mgH (Дж): а- висота падіння $H = 1,0$ кг; б-висота падіння H (м) змінюється; I- $m = 1,0$ кг; II- $m = 1,5$ кг; I II- $m = 2,0$ кг; IV- $m = 3,0$ кг; I'- $m = 1,0$ кг, $H = 1,5$ м; II'- $m = 1,5$ кг, $H = 1,0$ м; III'- $m = 2,0$ кг, $H = 0,75$ м; IV'- $m = 3,0$ кг, $H = 0,5$ м; 1- X (м); 2- mgH (Дж).

експериментах, відносяться до області інтересів динаміки споруд і визначення умов їх стійкості. Тому, досліджуючи особливості обвалень, можна встановити порогові умови виникнення і протікання цього процесу, який має суттєвий вплив на цілісність конструкцій, в тому числі бічних порід і стійкість гірничих виробок в вуглепородному масиві.

Обговорення результатів досліджень.

У цьому дослідженні вивчався вплив ударної сили $P_{уд}$ і ударного імпульсу $S_{уд}$ падаючого вантажу на відгук площини з

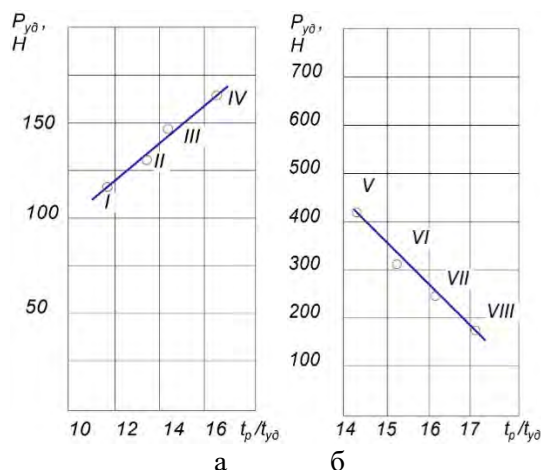


Рис.10. Графіки зміни величини ударної сили $P_{уд}$ (H) від відносини $t_p / t_{уд}$ при падінні на піддатливу основу: (а) - вантажу маси $m = 1,0$ кг з різної висоти H (м); (б) - вантажу різної маси m (кг) з висоти $H=1,5$ м: I- $H=0,5$ м; II- $H=0,75$ м; III- $H = 1,0$ м; IV- $H = 1,5$ м; V- $m = 3,0$ кг; VI- $m = 2,0$ кг; VII- $m = 1,5$ кг; VIII- $m = 1,0$ кг.

піддатливою основою із дробленої породи різного гранулометричного складу (рис.1-3). З фізичної точки зору, ударний імпульс $S_{уд}$ розглядався як характеристика силового впливу на експериментальні зразки протягом короткого проміжку часу. Зафіксовано, що деформаційні властивості піддатливої основи із дробленої породи при дії ударних навантажень, залежать від співвідношення в вихідному матеріалі фракцій різного розміру (в загальному обсязі експериментального зразка) (табл. 1, рис. 4,5).

Доведено, що для абсолютно непружного удару при контакті з площиною, яка має піддатливу основу, величина ударної сили $P_{уд}$ і ударного імпульсу $S_{уд}$, залежить від часу падіння t_p і тривалості удару $t_{уд}$ падаючого вантажу (вираз 14, 24, табл. 3, рис. 6,7,10). Час падіння t_p вантажу обумовлюється висотою обвалення (вираз 14), а тривалість удару $t_{уд}$ (вираз 24) - жорсткістю c піддатливої основи.

Встановлено, що при падінні вантажу однакової маси m з різної висоти H , коли остання зростає з $H=0,5$ м до $H=1,5$ м, зі збільшенням відносини, яке враховує час падіння t_p до тривалості удару $t_{уд}$, ударна сила $P_{уд}$ зростає по лінійній залежності (рис. 10). Коли час падіння t_p вантажу залишається постійною величиною, а тривалість удару зменшується, спостерігається зниження ударної сили $P_{уд}$ по спадної лінійної залежності (рис. 10б).

При незмінній висоті падіння H , зі

збільшенням маси вантажу m і кількості енергії одиничного удару mgH , зміщення x площині з піддатливою основою збільшується (рис. 9). Поряд з цим збільшується опір F закладального матеріалу ударним навантаженням і жорсткість c піддатливої основи (рис. 4,5). Зі зміною висоти падіння, коли H зменшується від $H=1,5$ м до $H=0,5$ м, при постійній кількості енергії одиничного удару mgH і масою вантажу m , яка збільшується, зміщення x площині з піддатливою основою збільшується одночасно із зростанням ударного імпульсу $S_{уд}$ і величиною опору F закладального матеріалу ударним навантаженням (рис. 4, 5, 6б, 7б, 8, табл.3).

Величина ударних навантажень і тривалість їх дії, впливають на поведінку бічних порід і стійкість гірничих виробок у виробленому просторі вуглепородного масиву. Очевидним є те, що цілісність бічних порід і стійкість гірничих виробок на виїмкових дільницях при прояві динамічних навантажень від обвалень, залежить від величини ударного імпульсу $S_{уд}$ падаючих породних блоків, тобто від їх маси m і висоти H обвалення.

Таким чином, в результаті виконаних досліджень визначені умови забезпечення стійкості гірничих виробок на виїмкових дільницях вугільних шахт від динамічних навантажень в результаті обвалень бічних порід. Для збереження цілісності бічних порід, щоб уникнути аварійних ситуацій пов'язаних з завалами виробок, доцільно використовувати опори із дробленої породи або закладання виробленого простору. Деформаційні властивості опор або закладальних масивів, визначають здатність піддатливої основи реагувати на ударні навантаження, які проявляються при обваленнях або посадках нависаючої товщі в вуглепородному масиві, зберігаючи цілісність бічних порід у виробленому просторі. При цьому закладальний матеріал повинен складатися із дробленої породи різного гранулометричного складу.

Висновки.

У вуглепородному масиві при дії ударних навантажень від обвалень, стійкість гірничих виробок на виїмкових дільницях вугільної шахти залежить від цілісності бічних порід у виробленому просторі. Стійкість бічних порід забезпечується за

рахунок використання в якості охоронних споруд піддатливої основи у вигляді опор із дробленої породи або закладання виробленого простору. Наявність піддатливих конструкцій у виробленому просторі, дозволить запобігти обвалу бічних порід. Деформаційні характеристики піддатливої основи із дробленої породи, як системи фракцій закладального масиву, визначаються величиною і часом дії ударних навантажень. При короточасних ударних навантаженнях, стан бічних порід залежить від величини ударної сили і жорсткості піддатливої основи. Причому, чим більше жорсткість піддатливої основи, тим сильніше удар о площину і вище ймовірність обвалення бічних порід. Величина ударних навантажень частково нейтралізується в результаті стискання піддатливої основи за час удару, коли зсув вдараємої площини збільшується. З ростом зсуву площини при ударі, зменшується сила удару і величина ударного імпульсу. Досягнення такого результату забезпечується наявністю в загальному обсязі закладального матеріалу дробленої породи різного гранулометричного складу. Виконання цієї умови дозволить запобігти аварійним ситуаціям від обвалень на виїмкових дільницях глибокої вугільної шахти і зберегти гірничі виробки в експлуатаційному стані.

Список літератури

1. Николін В.І., Подкопаєв С.В., Агафонов А.В. Снижение травматизма от проявления горного давления. Донецк: Норд-пресс. 2005. 232 с.
2. Викторов С. Д. Иофис М. А., Гончаров С. А. Сдвигание и разрушение горных пород. Москва: Наука, 2005. 277 с.
3. Чепіга Д.А. Обґрунтування та розробка способів підвищення безпеки праці гірників у виїмкових дільницях глибоких шахт. Автореферат дис.... канд. техн. наук 05.26.01/ ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». Покровськ, 2019. 24 с.
4. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов. *Уголь Украины*. 2001. №7. С. 6-10.
5. Зборщик М. П., Подкопаєв С. В. Механизм повышения устойчивости кровли в лавах при применении закладки выработанного пространства. *Уголь Украины*. 1992. №5. С. 20-23.
6. Малоотходная технология добычи угля / В. Е. Жуков, В. В. Выстороп, А. М. Колчин и др. Киев: Техника, 1984. 144 с.
7. Циглер Ф. Механика твердых тел и жидкостей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая механика», 2002. 912с.
8. Шакирзянов Р.А., Шакирзянов Ф.Р. Динамика и устойчивость сооружений. Казань: Изд-во Казанс. гос. архит-стр. ун-та, 2005. 120с.
9. Физика / Г.Н. Вотинов, А.В. Перминов, под общ. ред. А.И. Цаплина. Премь: Изд-во Прем. гос. техн. ун-та, 2008. 347с. ISBN 978-5-398-00037-5.
10. Горбач Н.И. Теоретическая механика. Динамика. Минск: Выш. Школа, 2012. 320с.
11. Пирс Л.А. Аналитическая механика. Москва: Наука, 1971. 636 с.
12. Зоммерфельд А. Механика. Ижевск: НИЦ: «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 368с. ISBN 5-93972-051-X
13. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2005. 440с.
14. Гусев А.Ф., Новосеова М.В. Прикладная теория колебаний. Тверь: Тверской гос. ун-т, 2017. 160с.
15. Пшеничкина В.А., Дроздов В.В., Строк С.И. Влияние жесткости основания на динамические характеристики здания как многомассового консольного стержня. *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2020. №16 (4). с. 298-310. DOI: 10.22363/1815-5235-2020-16-4-298-310.
16. Pshenichkina V.A., Shchitov D.V., Sidiyakin P.A. Problems of forecasting the resource of buildings of the historical construction of the resort region of the Caucasian Mineral Waters. *IOP conference series: materials science and engineering*. 2018. Vol.463, Part 2. Issue 3. P. 1-5.
17. Саргсян А.Е. Оценка интенсивности сейсмического воздействия на сооружение с учетом податливости его основания. *Строительная механика и расчет сооружений*. 1986. №4. С. 55-59.
18. Саргсян А.Е., Гукова Е.Г., Шаповалов Н.Н. Динамическая механическая модель основания сооружения с учетом инерционных свойств грунтов. *Вестник МГСУ*. 2012. №2. С.66-69.
19. Pshenichkina V.A., Drozdov V.V., Strok S.I., Sukhina K.N., Alkneume M.H. Converging of analytical solution of pile under horizontal static load with analysis through finite element method. *Advances in engineering research: conference proceedings. Vol.157*. Amsterdam, 2018. P. 520-523.
20. Лабораторный практикум по курсу «Механика горных пород» / С.В. Подкопаєв, Н.Н. Гавриш, Б.М. Деглин, В.И. Каменец. Донецк: ДонНТУ, 2012. 36с.
21. Кильчевский Н.А. Теория соударений твердых тел. Киев: Наукова думка, 1969. 246с.
22. Иванов А.П. Динамика систем с механическими соударениями. Москва: Международная программа образования, 1977. 336с.
23. Пановко Г.Я. Введение в теорию механического удара. Москва: Наука, 1977. 232с.
24. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А. Геомеханика. Киев: Новый друк, 2016. 528с. ISBN 978-617-635-088-0
25. Iordanov I., Novikova Yu., Simonova Yu., Yefremov O., Podkopayev Ye., Korol A. Experimental characteristics for deformation properties of backfill mass. *Mining of Mineral Deposits*. 2020. № 14(3). P.119-127. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining14.03.119>
26. Григорьев А.Ю., Григорьев К.А., Малякко Д.П. Соударение тел. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. 43с.
27. Полищук Д.Ф., Десятериков С.А. Прикладные теории удара. Удар в пружинных механизмах. Москва-Ижевск: ИКИ, НИЦ «Регулярная и хаотическая механика», 2006. 124 с. ISBN 5-93972-523-6.

References

1. Nikolin, I.V. Podkopayev, S.V., Agafonov, A.V. (2005). *Snizheniye travmatizma ot proyavleniya gornogo davleniya*. Donetsk: Nord-press. (in Russian)
2. Viktorov, S. D., Iofis, M.A., Goncharov, S.A. (2005). *Sdvizheniye i razrusheniye gornykh porod*. Moskva: Nauka. (in Russian)
3. Chepiha, D.A. (2019). Obruntuvannya ta rozrobka sposobiv pidvyshchennya bezpeky pratsi hirnykiv u vuyimkovykh dil'nytyakh hlybokykh shakht. (Master's thesis). DonNTU, Pokrovs'k.
4. Zhukov, V.Ye. (2001). Ob odnoy strategicheskoy oshibke v razreshenii problemy razrabotki krutykh plastov. *Ugol' Ukrainy*, 7, 6-10. (in Russian)
5. Zborshchik, M.P., Podkopayev, S.V. (1992). Mekhanizm povysheniya ustoychivosti krovli v lavakh pri primenenii zakladki vyrabotannogo prostranstva. *Ugol' Ukrainy*, 5, 20-23. (in Russian)
6. Zhukov, V.Ye., Vystorop, V.V., Kolchin A.M. i dr. (1984). *Malootkhodnaya tekhnologiya dobychi uglya*. Kiev: Tekhnika. (in Russian)
7. Tsigler, F. (2002). *Mekhanika tverdykh tel i zhidkostey*. Izhevsk: NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya mekhanika». (in Russian)
8. Shakirzyanov, R.A., Shakirzyanov, F.R. (2005) *Dinamika i ustoychivost' sooruzheniy*. Kazan': Izd-vo Kazans. gos. arkhitekt.-str. un-ta. (in Russian)
9. Tsaplina A.I. (Ed.). (2008). *Fizika*. Prem': Izd-vo Prem. gos. tekhn. un-ta. ISBN 978-5-398-00037-5. (in Russian)
10. Gorbach, N.I. (2012). *Teoreticheskaya mekhanika. Dinamika*. Minsk: Vyssh. shkola. (in Russian)
11. Pirs L.A. (1971) *Analiticheskaya mekhanika*. Moskva: Nauka. (in Russian)
12. Zommerfel'd, A. (2001). *Mekhanika*. Izhevsk: NITS: «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika». ISBN 5-93972-051-X. (in Russian)
13. Strelkov, S.P. (2005). *Vvedeniye v teoriyu kolebaniy*. Sankt-Peterburh: Izd-vo «Lan'». (in Russian)
14. Gusev, A.F., Novoseova, M.V. (2017). *Prikladnaya teoriya kolebaniy*. Tverskoy gos. un-t. (in Russian)
15. Pshenichkina, V.A., Drozdov, V.V., Strok, S.I. (2020). Vliyaniye zhestkosti osnovaniya na dinamicheskiye kharakteristiki zdaniya kak mnogomassovogo konsol'nogo sterzhnya. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktiv i sooruzheniy*, 16(4), 298-310. doi:10.22363/1815-5235-2020-16-4-298-310. (in Russian)
16. Pshenichkina, V.A., Shchitov, D.V., Sidiyakin, P.A. (2018). *Problems of forecasting the resource of buildings of the historical construction of the resort region of the Caucasian Mineral Waters. IOP conference series: materials science and engineering*. London: Institute of Physics Publishing. 032027.
17. Sargsyan, A.Ye. (1986). Otsenka intensivnosti seysmicheskogo vozdeystviya na sooruzheniya s ucheto podatlivosti yego osnovaniya. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 4, 55-59. (in Russian)
18. Sargsyan, A.Ye., Gukova, Ye.G., Shapovalov, N.N. (2012). Dinamicheskaya mekhanicheskaya model' osnovaniya sooruzheniya s ucheto inertsionnykh svoystv gruntov. *Vestnik MGSU*, 2, 66-69. (in Russian)
19. Pshenichkina, V.A., Drozdov, V.V., Strok, S.I., Sukhina, K.N., Alkneume, M.H. (2018). *Converging of analytical solution of pile under horizontal static load with analysis through finite element method. Advances in engineering research: conference proceedings*. Amsterdam: Atlantis Press.
20. Podkopayev, S.V., Gavrish, N.N., Deglin, B.M., Kamenets, V.I. (2012). *Laboratornyy praktikum po kursu «Mekhanika gornykh porod»*. Donetsk: DonNTU. (in Russian)
21. Kil'chevskiy, N.A. (1969). *Teoriya soudareniy tverdykh tel*. Kiev: Naukova dumka. (in Russian)
22. Ivanov, A.P. (1977). *Dinamika sistem s mekhanicheskimi soudarenyami*. Moskva: Mezhdunarodnaya programma obrazovaniya. (in Russian)
23. Panovko, G.YA. (1977). *Vvedeniye v teoriyu mekhanicheskogo udara*. Moskva: Nauka. (in Russian)
24. Shashenko, A.N., Pustovoytenko, V.P., Sdvizhikova, Ye.A. (2016). *Geomekhanika*. Kiev: Novyy druk. ISBN 978-617-635-088-0. (in Russian)
25. Iordanov, I., Novikova, Yu., Simonova, Yu., Yefremov, O., Podkopayev, Ye., Korol, A. (2020). Experimental characteristics for deformation properties of backfill mass. *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 119-127. <https://doi.org/10.33271/mining14.03.119>.
26. Grigor'yev, A.Yu., Grigor'yev, K.A., Malyavko, D.P. (2015). *Soudareniye tel*. Sankt-Peterburh: Universitet ITMO. (in Russian)
27. Polishchuk, D.F., Devyaterikov, S.A. (2006). *Prikladnyye teorii udara. Udar v pruzhinnykh mekhanizмах*. Moskva-Izhevsk: IKI, NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya mekhanika». ISBN 5-93972-523-6. (in Russian)

Надійшла до редакції 15.09.2020 р.

Рецензент д-р. геол. наук, проф. В.І. Альохін

Ляшок Ярослав Олександрович - д-р екон. наук, професор, ректор, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: iaroslav.liashok@donntu.edu.ua

Подкопась Сергій Вікторович – д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua

Конопелько Євген Іванович - канд. фіз.-матем. наук, доцент, професор кафедри «Охорона праці», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: yevhen.konopelko@donntu.edu.ua

Сімонова Юлія Ігорівна - аспірант кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

Петренко Андрій Віталійович – асистент кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail andrii.petrenko@donntu.edu.ua

Осипов Кирило Юрійович- здобувач, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: kosipov@seznam.cz

Булега Ігор Іванович- виконавчий директор, ТОВ «ВК ЕЛТЕКО» (вул. Олексі Тихого, буд. 3, м. Костянтинівка 85103, Україна).

Агафонов Олександр Васильович - директор проектного і науково-дослідного центру - ПрАТ "Донецьксталь" (вул.Торгівельна, буд. 106А, м.Покровськ, 85300, Україна)

ASSESSMENT MINE WORKINGS OF STABILITY UNDER IMPACT LOADS

Purpose of work. . *Determine the conditions for ensuring the mine workings of stability in the coal massif under the action of shock loads.*

Methods. *To achieve this goal, analytical studies were performed using the basic provisions of classical mechanics and the theory of elasticity. In laboratory studies, experimental samples of crushed rock were used, which were placed in a steel cylinder.*

Results. *In the course of experimental research, the influence of the impact force and the impact pulse of the falling load on the response of the plane on a pliable basis with inhomogeneous, piece-sized, fragmented rock was studied. It is recorded that at a constant amount of energy of a single impact ($mgH = 14.7 \text{ J}$), when the height of the fall of the load decreases 3 times (from $H = 1.5 \text{ m}$ to $H = 0.5 \text{ m}$), and the mass increases from $m = 1.0 \text{ kg}$ to $m = 3.0 \text{ kg}$, the magnitude of the impact force is reduced by 50%. With an increase in the amount of energy of a single impact (from $mgH = 4.9 \text{ J}$ to $mgH = 44.1 \text{ J}$) at the same height of fall, when the mass of the load increases threefold, there is an increase of 2.5 times the impact force. At a constant amount of energy of a single impact ($mgH = \text{const}$), the displacement of the plane on a pliable base of crushed rock depends on the magnitude of the impact pulse of the falling load.*

Novelty. *It is proved that when there is collapse of lateral rocks in the coal massif containing the production, the force of impact on the surface is proportional to the time of fall of the rock blocks to the time of their impact interaction with the plane.*

Practical significance. *In deep coal mines, as a result of mining and the probability of shock loads from landslides, to ensure the stability of mine workings in excavation sites, it is advisable to use pliable supports or filling the produced space with crushed rock, which will ensure the integrity of lateral rocks.*

Keywords: *coal massif, dynamic loads, impact, collapse of lateral rocks, malleable base, crushed of rock mass*

Liashok Iaroslav - Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: iaroslav.liashok@donntu.edu.ua

Podkopaiev Serhii- Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific Affairs, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua

Konopelko Yevhen - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, , Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: yevhen.konopelko@donntu.edu.ua

Simonova Yuliia - postgraduate student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: yuliia.simonova@donntu.edu.ua

Petrenko Andriy - department assistant, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail andrii.petrenko@donntu.edu.ua

Osypov Kirill- Research Assistant, Public higher education institution Donetsk National Technical University, (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: kosipov@seznam.cz

Buleha Ihor- Managing Director, LLC "Elteko", (str. Oleksiy Tykhoho, b. 3, Kostiantynivka 85103, Ukraine)

Ahafonov Olexsandr- Director of the project and research center - PJSC "Donetskstal" (str. Torgiveln, b.106A, Pokrovsk, 85300, Ukraine)