

ПОСИЛЕННЯ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НИЖНІХ ШАРІВ МАСИВУ ПІД ЧАС ВИБУХУ СВЕРДЛОВИННОГО ЗАРЯДУ

Лариса Воробйова

кандидат технічних наук,
доцент кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, larivorobiova@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5333-6091

Віктор Воробйов

доктор технічних наук,
професор кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, vvv.imit@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-3446-4714

Ірина Пєсва

кандидат технічних наук,
доцент кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, ipeeva@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-4916-7381

Андрій Черницький

аспірант кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, andrii.chernytskyi@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-8414-5132

Робота присвячена промисловій перевірці ефективності розробленої нової конструкції свердловинного заряду вибухової речовини при уступній відбійці гірських порід на залізорудних кар'єрах. Досліджено особливості процесу вибухового руйнування гірських порід при формуванні підвищеного динамічно нерівномірного навантаження нижніх шарів блоку, яке утворюється інертною вставкою (концентратором ударних хвиль) в донній частині свердловини.

Розроблена конструкція свердловинного заряду за рахунок зміни характеру взаємодії детонаційних хвиль з дном свердловини дозволяє зосередити енергію вибуху в зоні перебуру. Проведені дослідження дозволили встановити вплив параметрів концентратора ударних хвиль та фізико-механічних властивостей гірської породи на характер її руйнування (гранулометричний склад, діаметр середнього шматка, вихід негабариту). При цьому за рахунок зниження динамічного впливу відбитої ударної хвилі на матеріал забійки при використанні свердловинних зарядів з концентратором ударних хвиль в донній частині збільшується час перебування в заряді і тривалість впливу ПД на масив, що підвищує кінцеву ефективність механічної дії вибуху.

Вперше досліджено вплив величини кута конічного концентратора ударних хвиль на характер дроблення гірської породи. Встановлено, що при $\alpha = 30^\circ$, за рахунок того, що забійка довше залишається в заряді, досягається найкраще дроблення (зменшення діаметра середнього шматка склало майже 13 % порівняно з контрольною ділянкою, де використовували звичайні заряди).

Проведені промислові дослідження показали, що за рахунок застосування нової конструкції свердловинного заряду можна в 1,7 рази зменшити величину перебуру та на 10–12 % знизити діаметр середнього шматка зруйнованої гірської маси.

Ключові слова: вибухова речовина, гірська порода, концентратор ударних хвиль, свердловинний заряд, продукти детонації, ефективність.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Буропідривні роботи (БПР) при розробці рудних і нерудних родовищ займають домінуюче положення. Будучи початковим процесом технології здобичі, ці роботи визначають ефективність усіх наступних процесів: від вантаження і транспортування до механічного дроблення і переробки мінеральної сировини. Рівномірність і великість дроблення масиву, відсоток виходу негабарита, опрацювання підосви уступу, ширина розвалу гірської маси – ці й інші характеристики в основному визначають якість проведених БПР. Нині для отримання проектною відмітки підосви уступу використовується перебур свердловин. Але використання перебура має свої істотні недоліки. Враховуючи високу собівартість буріння свердловин на кар'єрах, одним з основних недоліків перебура є додаткові витрати на буріння [1–3].

Одним із найбільш ефективних технологічних методів, який знижує величину перебура, висоту порогів між свердловинами? є правильний вибір конструкції заряду вибухової речовини (ВР). Конструкція свердловинного заряду ВР визначає його геометричні, енергетичні і просторові параметри в руйнівному масиві гірських порід, а також забезпечує можливість управління часом передачі енергії вибуху заряду ВР у доквілля [1].

МЕТА СТАТТІ – промислова перевірка ефективності розробленої конструкції свердловинного заряду з інертною вставкою (концентратом ударних хвиль – КУХ).

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Нині поширено декілька основних напрямів, які сприяють зменшенню величини перебура [1; 3]. Одним із основних вважається конструкція заряду: це застосування зарядів змінного перерізу за висотою уступу, а також зарядів, що поєднують різні форми зарядної порожнини. Застосування зарядів зі сферичними і циліндричними котлами в донній частині свердловини в основному поширене при вибуховому руйнуванні порідних масивів, що містять пласти, які складно дробити. Під час вибуху сферичного заряду радіальні тріщини на всіх напрямках розвиваються рівномірно, що покращує дроблення в нижній частині свердловини. Проте внаслідок швидкого убування напруги на фронті хвилі на порівняно невеликих відстанях від заряду розвиток тріщин вже припиняється, через що виходить нерівномірне дроблення породи. Тому заряди цієї конструкції застосовують за наявності в масиві пластів малої потужності і підвищеної міцності. Застосування

котельних зарядів циліндричної і конусоподібної форм дозволяє підвищити якість дроблення гірської маси в донній частині свердловини і зменшити величину перебура при підриванні першого ряду свердловин за рахунок збільшення кількості ВР у свердловині [1].

Можливим варіантом зниження величини перебура є застосування заряду змінного перерізу за висотою уступу, що має в поперечному перерізі виїмку, яка забезпечує спрямованість дії вибуху. Утворення порожнини з такою конфігурацією можливо досягається за допомогою застосування спеціальної технології буріння вибухових свердловин верстатами вогнеструмного буріння.

Незважаючи на переваги розглянутих конструкцій зарядів, вони не знаходять широкого застосування, особливо на кар'єрах будматеріалів, оскільки утворення свердловинних порожнин складної форми вимагає наявності спеціального бурового устаткування і збільшує вартість БПР.

Одним із напрямів розробки раціональних конструкцій свердловинних зарядів, сприяючих зниженню величини перебура і опрацюванню підосви уступу, є заряди з повітряними або водними проміжками в донній частині свердловини [1]. При дробленні гірської породи необхідно, щоб хвиля стискування, утворена вибухом свердловинного заряду, мала амплітуду вище за межу міцності руйнованої гірської породи. Це можна досягти за рахунок щільного примикання заряду до стінок зарядної порожнини. Зниження початкового тиску в зарядній порожнині за рахунок можливості розширення ПД на початковій стадії вибуху можливо тільки за рахунок повітряних проміжків, розташованих між окремими частинами заряду уздовж його осі. При застосуванні розосереджених свердловинних зарядів з повітряними проміжками спостерігається заниження підосви уступу (як наслідок цього з'являється можливість зниження величини перебура), верхня частина уступу і підосва дробляться значно краще, ніж при суцільному заряді або розосередженому інертною забійкою. На величину перебура, а також на якість опрацювання підосви уступу істотно впливає вибір точки і напрям ініціації свердловинного заряду, а також створення уповільнень між різними частинами заряду.

Одним із методів підвищення ефективності використання енергії ВР для інтенсивного і рівномірного дроблення гірських порід є підривання високих (більше 15 м) уступів, застосування якого дозволяє створювати значні запаси підриваної гірської маси [3]. Проте застосування під-

ривання високих уступів приводить до зростання лінії опору по підшві (ЛОПП) до 20–30 м.

Таким чином, опрацювання підшви уступів не повною мірою відповідає вимогам, що пред'являються до якості підірваної маси. На кар'єрах НКГЗК при використанні в першому ряду вертикальних парно зближених свердловин у випадках збільшеної (до 22 м) ЛОПП ці показники були дуже низькими. При використанні в першому ряду пар похилих (кут нахилу складає 75°) вертикальних свердловин показники дроблення і опрацювання підшви істотно поліпшилися, хоча величини ЛОПП досягали 25–26 м.

Збільшення ефективності опрацювання підшви уступу значною мірою залежить від величини і якості забійки. Чим довше забійка утримується в зарядній порожнині, тим довше газоподібні ПД, що проникли в утворені ударною хвилею тріщини, роблять руйнування в донній частині свердловини. Тому застосування раціональних конструкцій забійок, які дозволяють замикаєти газоподібні ПД, призводить до поліпшення опрацювання підшви уступу [4; 5].

Виконані авторами теоретичні і лабораторні дослідження показали [6; 7], що форма донної частини заряду робить істотний вплив на стан поверхні і рівень підшви уступу після вибуху. Різні форми донної частини пропонується виконувати за допомогою концентраторів ударних хвиль (КУХ). Таким чином, використовуючи отримані результати, можна запропонувати конструкцію заряду, в якій на дні свердловини розташований КУХ (виготовлений, наприклад з бетону). Це дозволить понизити величину перебура свердловинних зарядів, вийти на проектну відмітку підшви уступу і забезпечити необхідний гранулометричний склад підірваної маси.

Використання КУХ з похилою поверхнею найбільш ефективно при установці їх в першому ряду свердловин, де величина ЛОПП максимальна, проте орієнтування цього пристрою у свердловині пов'язане з визначеними труднощами, тому при виконанні промислових експериментів використали вставки з конусною поверхнею. КУХ виготовляли з піщано-цементної суміші, із співвідношенням піску і цементу марки 400 як 2:1. Перевірка результатів лабораторних досліджень була проведена в умовах ПрАТ «Полтавський ГЗК» (м. Горишні Плавні).

Нині на ПГЗК розробляються три групи корисних копалини: основні корисні копалини, представлені різноманітними текстурно-мінералогічними і технологічними типами залізистих

кварцитів, належних Горишне-Плавнинському і Лавриківському родовищам; супутні нерудні матеріали з тих, що вміщують бокові скельні породи (амфіболіти, сланці, безрудні роговики, плагіо-граніти); супутні нерудні матеріали зі вскришних рихлих порід кайнозою (піски, мергельні глини, суглинки). Середня потужність кварцитів на Лавриківській ділянці складає 78 м, на Горишне Плавнинській – 160 м, довжина покладу в межах обох ділянок складає 7,5 км. Коефіцієнт міцності за шкалою професора Протод'яконова рівний 15–20. Середній зміст заліза загального в магнетитових кварцитах змінюється в межах 26–36 %, а заліза, пов'язаного з магнетитом, – від 16 до 38 %.

Параметри БВР, які використовували при проведенні промислових експериментів: сітка свердловин $5,5 \times 6,5$ м; глибина – 10–14 м; діаметр свердловин – 0,25 м; тип ВР – анемікс 70; питома витрата ВР – 0,8–0,9 кг/м³.

Промислові дослідження проводилися методом порівняння результатів вибухів свердловинних зарядів суцільної конструкції і зарядів з КУХ в донній частині, що висаджуються в повітря на одному блоці. Критерієм оцінки ефективності досліджуваних конструкцій були інтенсивність дроблення гірської маси і якість опрацювання підшви уступу. Якість дроблення оцінювали гранулометричним складом і діаметром середнього шматка зруйнованої породи (за допомогою фотопланіметричного методу), опрацювання підшви уступу визначали маркшейдерською зйомкою уступу після вибуху.

Конструкція заряду приведена на рис. 1. Технологія заряджання свердловин на дослідній ділянці була такою: спочатку на дно свердловини на мотузці спускали КУВ (рис. 1, поз. 1), після чого за допомогою дзеркала і відбитого світла контролювалося його положення, потім формували заряд і бойовики (рис. 1, поз. 2, 4), а згори засипали забійку (рис. 1, поз. 3).

Після прибирання гірської маси на цьому блоці маркшейдерська група виконувала геодезичну зйомку. Аналіз отриманих результатів показав, що використання конструкції заряду, в донній частині якого розташований КУХ, призводить до зниження підшви уступу на 80–85 см (порівняно з контрольною ділянкою, на якій використовували звичайні суцільні заряди).

Результати проведених експериментів показали (табл. 1), що розташування в донній частині свердловини КУХ здійснює вплив на інтенсивність вибухового руйнування гірських порід:

діаметр середнього шматка при використанні цих зарядів знижується на 8,2 %; вихід середніх фракцій збільшується в 1,2 рази, а вихід великих фракцій (понад 400 мм) знижується в 1,2 рази.

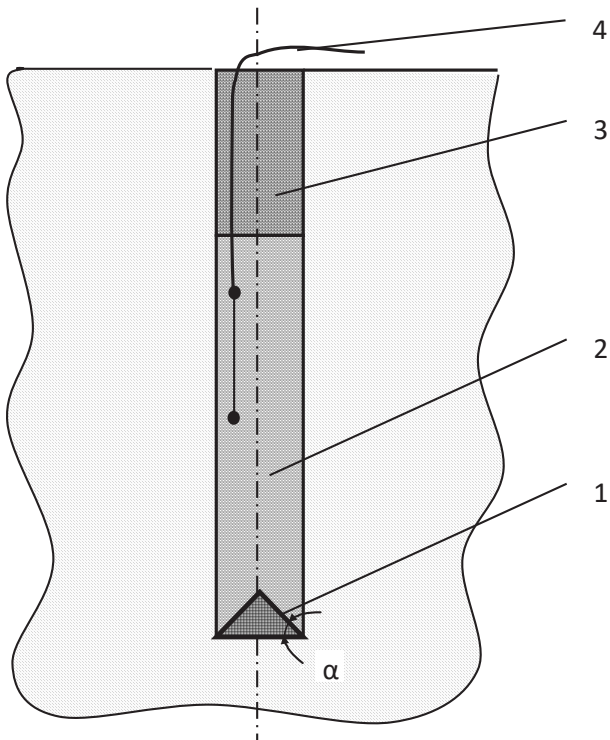


Рисунок 1 – Конструкція свердловинного заряду

Проведені теоретичні і лабораторні дослідження показали, що змінюючи кут біля основи конічного КУХ, можна регулювати дроблення гірської породи. Для перевірки отриманих результатів були проведені дослідні вибухи з використанням зарядів з КУХ в донній частині, величину кута α змінювали в межах від 20° до 45° (табл. 2).

Результати проведених експериментів показали, що при використанні зарядів з КУХ ($\alpha = 20^\circ$), розташованих в донній частині свердловини, діаметр середнього шматка трохи зменшився (на 3,6 %).

При використанні зарядів з КУХ ($\alpha = 30^\circ$), за рахунок того, що забійка довше залишалася в заряді, зменшення діаметру середнього шматка складало майже 13 % в порівнянні з контрольною ділянкою (в порівнянні з ділянкою, на якій використали заряди з КУХ ($\alpha = 45^\circ$) це зменшення складало 5,8 %), вихід великих (більше 400 мм) фракцій знизився в 1,4 рази, а вихід середніх фракцій збільшився в 1,3 рази.

Виконані експерименти показали, що використання зарядів з КУХ в донній частині дозволяє підвищити міру руйнування гірських порід вибухом. Отже, можна добитися колишньої якості вибухового руйнування, збільшивши при цьому сітку свердловин. При проведенні даних експериментів відстань між свердловинами змінювали з кроком 0,25 м. Аналіз отриманих результатів показав (табл. 3), що при використанні зарядів з КУХ в донній частині можливе розширення сітки свердловин з $5,5 \times 6,5$ м до $5,5 \times 6,75$ м.

ВИСНОВКИ. У результаті проведених досліджень за оцінкою ефективності використання розроблених результатів в промислових умовах встановлено:

1. Використання свердловинних зарядів з КУХ в донній частині за рахунок посилення динамічної дії на нижні шари висаджуваного в повітря масиву дозволяє без погіршення якості опрацювання підшви уступу понизити величину перебура в 1,7 рази.

2. За рахунок зниження динамічної дії відбитої ударної хвилі на матеріал забійки при вико-

Таблиця 1 – Вплив розташування КУХ в донній частині заряду на інтенсивність вибухового руйнування гірських порід

Дільниця	Відсотковий вміст фракцій (мм)						Діаметр середнього шматка, мм
	0–100	100–200	200–400	400–600	600–800	>800	
Контрольна	7,3	27,9	31,8	20,4	11,1	1,4	333,2
Дослідна	7,9	32,1	32,9	17,3	9,8	–	305,9

Таблиця 2 – Вплив параметрів КУХ в донній частині заряду на інтенсивність вибухового руйнування гірських порід в умовах ПрАТ «Полтавський ГЗК»

Дільниця	Відсотковий вміст фракцій (мм)						Діаметр середнього шматка, мм
	0–100	100–200	200–400	400–600	600–800	>800	
Контрольна	8,1	26,9	29,2	22,2	12,1	1,5	341,3
Дослідна ($\alpha = 20^\circ$)	8,1	27,4	31,3	21,9	10,5	0,8	328,9
Дослідна ($\alpha = 30^\circ$)	7,8	33,4	33,8	16,5	8,5	–	297,4
Дослідна ($\alpha = 45^\circ$)	8,0	30,8	31,4	19,2	10,1	0,5	315,6

Таблиця 3 – Вплив параметрів сітки свердловин на зміну гранулометричного складу зруйнованої гірської маси

Сітка свердловин, м	Відсотковий вміст фракцій, мм						Діаметр середнього шматка, мм
	0–100	100–200	200–400	400–600	600–800	>800	
5,5 × 6,5 (контрольна)	6,6	27,9	30,3	22,8	11,2	1,2	339,3
5,75 × 6,75 (дослідна)	6,5	28,5	31,2	20,9	11,9	1	336,4
6,0 × 6,75 (дослідна)	6,3	24,9	31,1	23,8	12,0	1,9	353,9

ристанні свердловинних зарядів з КУХ в донній частині збільшується її час знаходження в заряді і тривалість дії ПД на масив. Це призводить до зниження діаметру середнього шматка на 8–12 % (залежно від міцності породи) і зменшення виходу негабарита в 1,7 разу.

3. Уперше в промислових умовах досліджено вплив величини кута α біля основи конічного КУХ на характер дроблення гірської породи.

Встановлено, що при $\alpha = 30^\circ$, за рахунок того, що забійка довше залишається в заряді, досягається найкраще дроблення (зменшення діаметру середнього шматка склало майже 13 % у порівнянні з контрольною ділянкою, де використовували звичайні заряди.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комир В. М., Кузнецов В. М., Воробьев В. В. Повышение эффективности взрыва в твердой среде. М. : Недра, 1988. 232 с.
2. Клишин И. В. Влияние величины перебура скважин на качество ведения взрывных работ при разработке каменных карьеров по производству щебня. ГИАБ. 2012. № 5. С. 272–274.
3. Полтаращенко Д. С. Определение параметров буровзрывных работ, обеспечивающих качественное разрушение уступов увеличенной высоты. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. Вип. 2. 2008 (49). Ч. 1. С. 106–108.
4. Jhanwar J., Jethwa J., Reddy A. Influence of air-deck blasting on fragmentation in jointed rocks in an open-pit manganese mine. *European Scientific Journal December*. 2013. SPECIAL edition vol. 3. P. 200–207.
5. Воробьев В. В., Помазан М. В. Усиление квазистатического действия продуктов детонации в донной части шпура. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. 2008. Вип. 5/2008 (52). Ч. 2. С. 154–157.
6. Vorobyov V., Pomazan M., Shlyk S., Vorobyova L. Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774. 2017. 3/1 (87). 53–62 pp.
7. Войтенко Ю. І., Кравець В. Г., Ган А. Л., Корбійчук В. В. Ефективність зарядів різних конструкцій при деформуванні та руйнуванні металевих перепон. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. Серія: Технічні науки. 2018. № 1 (81). С. 223–231.

STRENGTHENING THE DYNAMIC NAVANTAGE OF THE LOWER BALLS IN THE ARRAY DURING THE VIBUCHA OF THE SUPERBOARD CHARGE

Larisa Vorobyova

Ph.D.,

Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, larivorobiova@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-5333-6091

Viktor Vorobyov

Doctor of Technical Sciences,

Professor at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, vvv.imit@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-3446-4714

Irina Pieieva

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, ipeeva@gmail.com;

ORCID: 0000-0003-4916-7381

Andrii Chernytskyi

PhD Student at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, andrii.chernytskyi@gmail.com;

ORCID: 0000-0001-8414-5132

The work is dedicated to the industrial reversal of the efficiency of the broken new design of the sverdlovino charge of vibukhovo speech in case of yielding to the waters of the mountain rocks on the ore mines. The peculiarity of the process of vibrocoagulation of the hard cores during the molding of the dynamically shifted uneven tension of the lower balls in the block was studied, as if it was established by an inert insert in the bottom part of the core. The design of the sverdloviny charge has been broken up for changing the nature of the interaction between the detonation fins and the bottom of the sverdloviny, allowing the energy of the vibe to be generated in the zone of the overburden. Conducted research made it possible to install the parameters of the concentrator of shock waves and physical and mechanical powers of the mountain breed on the nature of the rubble (granulometric warehouse, diameter of the middle piece, and oversized).

With the help of a decrease in the dynamic flow of the shock wind on the material of the padding with a concentrator of the shock wind in the bottom part, the hour of the change in the charge and the durability of the blow of the PD on the mass, For the first time, the impact of the value of the end concentrator of percussive quills on the nature of the crushing of the mountain rock was assessed. It has been established that at $\alpha = 30^\circ$, for the size of the fact that the padding was more squandered in the charge, the finest crushing is reached (the change in the diameter of the middle piece folded more than 13 % compared to the control plot, devoicing the secondary charge).

Conducted industrial investigations showed that for the adjustment of a new design of a drilled charge it is possible to change the amount of overburden by 10–12 % and reduce the diameter of the middle piece of a drilled fat mass by 1.7 times.

Key words: vibukhova speech, mountain breed, concentrator of percussive winds, drill charge, detonation products, efficiency.

REFERENCES

1. Komir, V. M., Kuznetsov, V. M., Vorobyov, V. V. Povyshenie effektivnosti vzryva v tverdoi srede. M. : Nedra, 1988. 232 s. [in Russian]
2. Klishin, I. V. Vliyanie velichiny perebura skvazhin na kachestvo vedeniya vzryvnykh rabot pri razrabotke kamennykh kar'erov po proizvodstvu shchebnya. *GIAB*. 2012. № 5. S. 272–274. [in Russian]
3. Poltarashchenko, D. S. Opredelenie parametrov burovzryvnykh rabot, obespechivayushchikh kachestvennoe razrushenie ustupov uvelichennoi vysoty. *Visnik Kremenchuts'kogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu imeni Mikhailo Ostrohradskyi*. Vypusk 2. 2008 (49). Chastina 1. S. 106–108. [in Russian]
4. Jhanwar, J., Jethwa, J., Reddy, A. Influence of air-deck blasting on fragmentation in jointed rocks in an open-pit manganese mine. *European Scientific Journal December*. 2013. SPECIAL edition vol. 3. P. 200–207.
5. Vorobyov, V. V., Pomazan, M. V. Usilenie kvazistaticheskogo deistviya produktov detonatsii v donnoi chasti shpura. *Visnik Kremenchuts'kogo derzhavnogo politekhnichnogo universitetu imeni Mikhaila Ostrograds'kogo*. 2008. Vip. 5. 2008 (52) chast 2. S. 154–157. [in Russian]
6. Vorobyov, V., Pomazan, M., Shlyk, S., Vorobyova, L. Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774. 2017. 3/1 (87). 53–62 pp.
7. Voitenko, Yu. I., Kravets', V. G., Gan, A. L., Korbiichuk, V. V. Efektivnist' zaryadiv riznykh konstrukttsii pri deformuvanni ta ruinuvanni metalevikh perepon. *Visnik Zhitomirs'kogo derzhavnogo tekhnologichnogo universitetu*. Seriya Tekhnichni nauki. Zhitomir. 2018. № 1 (81). S. 223–231. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 10.03.2022