

О.О. Фролов, д.т.н., проф.

А.В. Куляпіна, студ.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Експериментальні дослідження впливу рідкого активного наповнювача на властивості вибухових речовин місцевого приготування

Основними засобами підвищення і регулювання ефективності дії вибуху в процесі дроблення скельних масивів порід є склад вибухових речовин і конструкція зарядів на їх основі. У зв'язку з цим перспективною є розробка найпростіших вибухових речовин місцевого приготування з різними у своєму складі добавками і формуванням зарядів в поліетиленових рукавах.

За результатами досліджень доведено, що введення до складу свердловинного заряду компонента рідкого ущільнюючого впливає на властивості вибухових речовин місцевого приготування та дозволяє регулювати об'ємну концентрацію енергії вибуху.

Встановлено залежність щільності сумішевих вибухових речовин від вмісту і кількості компонента рідкого ущільнюючого, що забезпечує водостійкість вибухових сумішей. Для вибухової речовини типу полімікс ГР1/8 дослідженнями встановлено, що при вмісті компонента рідкого ущільнюючого 35 % за масою (понад 100 %) відбувається повне заповнення пор, при цьому забезпечується повна водостійкість суміші при формуванні заряду в рукавах.

Експериментальними випробуваннями встановлено, що підірвання вибухової суміші з компонентом рідким ущільнюючим значно більше прогинає металеву пластину, ніж вибух тієї ж вибухової речовини без добавок. Однак найбільшу працездатність вибухові речовини показують не при повному заповненні міжгранульного простору.

Ключові слова: вибух; свердловинний заряд; вибухова речовина; водостійкість; компонент рідкий ущільнюючий; гірський масив.

Постановка проблеми. В сучасних соціально-економічних умовах України розвиток економіки нерозривно пов'язаний з видобутком і переробкою мінерально-сировинних ресурсів на гірничодобувних підприємствах різних галузей промисловості. При цьому підвищення ефективності роботи підприємств може бути досягнуто за рахунок різкого зниження витрат на виконання вибухових робіт як одного із основних технологічних процесів гірничого виробництва. Пріоритетним напрямком зменшення цих витрат є нарощування обсягів використання вибухових речовин (ВР) місцевого приготування, вартість яких істотно нижче ціни штатних промислових ВР спеціалізованих заводів-виготовлювачів [1]. При використанні ВР місцевого приготування вирішуються проблеми механізації робіт з вибухового комплексу, виключаються або знижуються до мінімуму застосування дорогих шкідливих ВР, а також зменшуються обсяги зовнішніх і внутрішніх перевезень небезпечних вибухових матеріалів (ВМ) [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними засобами підвищення корисної роботи вибуху і максимальної її трансформації в руйнований масив у процесі дроблення масивів скельних порід є ВР і конструкція заряду на їх основі [3–6]. Тому останнім часом отримали розвиток найпростіші неводостійкі ВР місцевого приготування з різними у своєму складі добавками і формуванням зарядів у поліетиленових рукавах як при заряджанні обводнених свердловин, так і сухих [7–10].

Введення до складу ВР різних добавок розширює можливості найбільш ефективного підвищення енергетики вибуху. Регулювання концентрації енергії дозволяє встановлювати оптимальні параметри вибухової відбійки або ж поліпшити ступінь дроблення гірничої маси.

Відомо [11], що об'ємна концентрація енергії вибуху може регулюватися заповненням міжгранульних порожнин інертними або активними рідкими наповнювачами. Найчастіше в якості інертного наповнювача ВР застосовуються вода, водні розчини неорганічних солей, наприклад бішофіт, в якості активного наповнювача – водні розчини окиснювача.

При заповненні водою аміачно-селітрових ВР, що містять вибуховий сенсibilізатор (грамоніти, амоніти), окиснювач частково розчиняється у воді і міжгранульний простір заповнюється її водним розчином, який за певних умов може брати участь у реакції вибухового перетворення. Недоліком таких ВР є підвищена питома витрата внаслідок часткового розчинення аміачної селітри.

При водонаповненні аміачно-селітрових ВР, що не містять вибухового сенсibilізатора, проявляється флегматизуюча дія води, яка тим сильніше, чим більше поверхня контакту її з ВР. Введення води у вибухові суміші типу АН-ФО (ігданіт, грануліти) знижує їх чутливість до засобів ініціювання та швидкість детонації, яка при вмісті 8 % води схильна до загасання. Тим не менш, введення води у такі ВР в межах 4 ... 6 % збільшує їх щільність, вибухові характеристики і об'ємну концентрацію енергії [12].

Автори [13, 14] вважають, що перспективним є застосування безтритилових розчинно-містких ВР з сенсibilізатором у вигляді вуглеводневих загусників. Чутливість до сприйняття детонації забезпечується великою кількістю дрібних бульбашок повітря, насичуючих вибухову суміш і знижуючих її щільність. Такі склади розроблені в різних країнах далекого і близького зарубіжжя, де їх класифікують як розчинно-місткі ВР малої щільності.

Аналіз відомих рішень із застосування рідких добавок, з метою регулювання об'ємної щільності заряду ВР, свідчить про те, що вони мають ряд недоліків, пов'язаних з порушенням кисневого балансу промислових ВР, підвищеною питомою витратою ВР, технологічною складністю їх виготовлення і застосування.

Перспективність ВР з наповнювачем може бути підвищена розробкою невибухових активних рідких водних розчинів, що складаються з окиснювача, пального і технологічних добавок і не володіють властивостями розчинника. Хоча вони і не підвищують значною мірою власну щільність ВР, проте дають свій енергетичний внесок і, крім того, підвищують ущільненість ВР. Такий склад був розроблений ПрАТ «Техновибух» і названий – компонент рідкий ущільнюючий (КРУ), що є насиченим водним розчином солей азотної кислоти, рідкого пального, згущувача й стабілізатора складу [15].

Застосування КРУ у складі різних ВР показали істотне підвищення вибухових характеристик і водостійкості найпростіших аміачно-селітрових ВР.

Мета дослідження. Вивчення впливу рідкого активного наповнювача на властивості аміачно-селітрових вибухових речовин місцевого приготування.

Викладення основного матеріалу. Головною перевагою наповнених розчином вибухових сумішей є можливість регулювання щільності і внаслідок цього концентрації енергії в одиниці об'єму зарядної порожнини. Для визначення оптимального вмісту КРУ, що дає максимальну перевагу в об'ємній концентрації енергії, на моделях були простежені основні закономірності процесу наповнення розчином. Експерименти проводили з ВР полімікс ГР 1/8. Суха суміш містила 37,3 % щільної, 52,2 % пористої селітри аміачної, 2,5 % палива дизельного та 8 % компонента пального набухаючого ГНК-1 [9]. Щільність компонентів при температурі 20°C становила, відповідно, 1,6; 1,25; 0,86 і 1,4 г/см³. Щільність загущеного КРУ – 1,37 г/см³.

На рисунку 1 представлено результати дослідів зі складами, що показують вплив вмісту КРУ на загальну щільність суміші (1) і середньозважену щільність твердої і рідкої фаз (2). Повному заповненню системи має відповідати точка, в якій відбувається торкання експериментальної залежності загальної щільності від змісту рідкої фази (1) з прямою, що виражає аналогічну розрахункову середньозважену залежність щільності суміші (2) [15].

З рисунку 1 видно, що найбільше заповнення суміші спостерігається при вмісті 35 % за масою або 27 % за об'ємом рідкої фази. Деяке відхилення до збільшення від величини щільності пояснюється частковим насиченням розчином пористої селітри, яке становить приблизно 1,6 %.

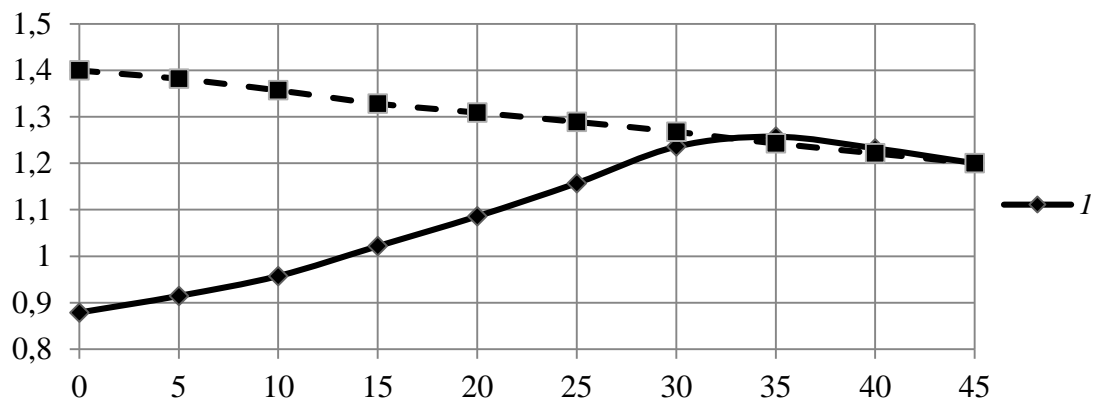


Рис. 1. Залежність щільності поліміксу ГР1/8 від вмісту КРУ: 1 – загальна експериментальна; 2 – типова середньозважена твердої і рідкої фази

При наповненні розчином поліміксу ГР1/8 відбувалося збільшення його щільності як за рахунок «мастильної» дії наповнювача, так і за рахунок збільшення загальної маси заряду. Збільшення щільності даної ВР за рахунок цих чинників відображено кривою 1, яка наведена на рисунку 1.

Таким чином, для суміші типу полімікс ГР1/8 дослідженнями встановлено залежність її щільності від вмісту КРУ. При вмісті КРУ 35 % за масою (понад 100 %) відбувається повне заповнення пор. Експерименти показують, що при цьому забезпечується водостійкість ВР.

При дослідженні стабільності заряду ВР встановлено, що міграція КРУ починається при вмісті незагущеного розчину більше 10 % і збільшується аж до повного заповнення пор. Введення до складу КРУ згущувача в кількості 0,35 % і більше забезпечує відсутність розшарування заряду по висоті.

Аналогічні дослідження було проведено і для інших ВР [15]. Результати цих досліджень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Залежність щільності ВР від змісту КРУ

Назва ВР	Щільність ВР, г/см ³ при вмісті КРУ, %								Мінімальна кількість КРУ, яка забезпечує водостійкість ВР, %
	0	5	10	15	20	25	30	35	
полімікс ГР1/10	0,9	0,95	1,02	1,09	1,16	1,22	1,27	–	32
полімікс ГР1/12	0,92	0,99	1,07	1,17	1,23	1,27	–	–	27
комполіт ГС1	0,80	0,90	0,94	0,98	1,05	1,11	1,21	1,26	38
комполіт ГС6	0,91	0,96	1,02	1,1	1,13	1,17	1,19	1,21	36

З метою визначення вибухових характеристик ВР при застосуванні в якості наповнювача КРУ, а також порівняння їх з характеристиками ВР без наповнювача виконано експериментальні випробування [15].

Діаметр заряду становив 100 мм, маса – 5 кг. Підривали як сухі заряди, так і заряди з підливкою КРУ. Ініціювання зарядів здійснювалося у верхній частині заряду від тротилової шашки Т-400Г. Заряди встановлювали у вертикальному положенні на сталеву підкладку-лист розміром 250 на 250 мм, товщиною 8 мм. Про повноту детонації зарядів свідчила наявність і глибина **прогину** пластини на місці установки зарядів та відсутність залишків ВР після вибуху. Одночасно проводилися виміри швидкості детонації ВР (табл. 2).

Таблиця 2

Вибухові характеристики промислових ВР за результатами випробувань

Назва ВР	Масова частка КРУ, %, (>100 %)	Водостійкість заряду ВР	Щільність ВР, г/см ³	Прогин сталевий пластини, мм	Швидкість детонації, км/с
комполіт ГС 6	0	–	0,91	67	2,6
	3	–	0,95	73	2,9
	10	–	1,02	90	3,2
	36	водостійкий	1,27	80	3,5
полімікс ГР1/8	0	–	0,88	44	2,88
	10	–	0,97	67	3,14
	17,5	–	1,04	78	3,8
	25	–	1,15	75	3,6
	35	водостійкий	1,23	70	2,39

На рисунку 2 наведено залежність результатів випробувань працездатності зарядів комполіту ГС6 і поліміксу ГР1/8 при різних значеннях заповнення міжгранульного простору ВР, у тому числі й при забезпеченні їх повної водостійкості.

Аналіз наведених даних показує, що найбільший прогин пластини (90 мм) спостерігається при вмісті КРУ в комполіті ГС6 10 %. При забезпеченні повної водостійкості ВР працездатність комполіту ГС6 зменшується (**прогин** пластини становить 80 мм). При відсутності у складі КРУ прогин пластини найменший – 44 мм.

Аналогічно змінюється працездатність у поліміксу ГР1/8 з різним вмістом КРУ. Зокрема, максимальний прогин пластини (біля 80 мм) відбувається при підриванні ВР з вмістом КРУ 18 %. При відсутності у складі КРУ прогин пластини становить – 65 мм. При повному заповненні міжгранульного простору КРУ пластини прогинається на 70 мм.

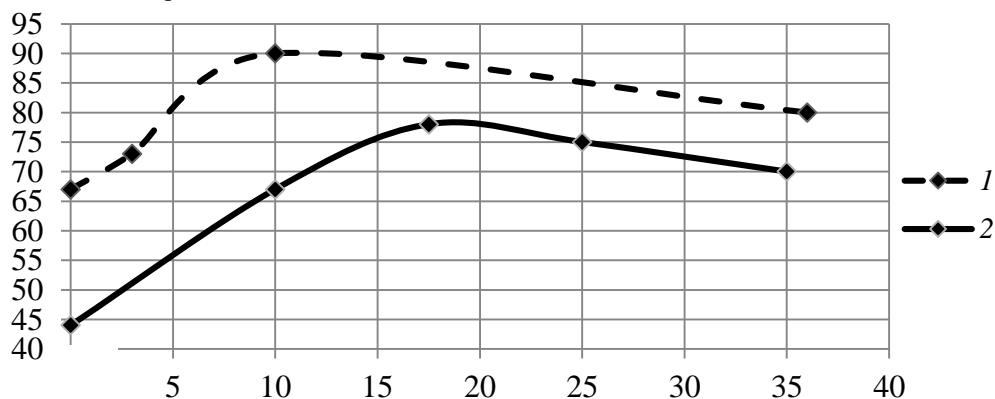


Рис. 2. Залежність відносного прогину пластини від кількості КРУ: 1 – комполіт ГС-6; 2 – полімікс ГР1/8

За результатами випробувань вибухових властивостей ВР можна зробити висновок, що застосування КРУ в складі ВР дає значний енергетичний вигравш, порівняно із сипучими ВР без КРУ, та при повному заповненні пор забезпечує їх водостійкість [13]. Таким чином, проведеними дослідженнями встановлено, що застосування КРУ в складі промислових ВР дозволяє регулювати їх щільність, енергетичні характеристики, підвищити водостійкість, поліпшити технологічний процес заряджання.

Висновки. За результатами досліджень впливу рідкого активного наповнювача на властивості вибухових речовин місцевого приготування доведено, що одним із прогресивних методів підвищення економічної ефективності вибухових робіт у кар'єрах є використання зарядів ВР з різними за своїм складом добавками та формуванням зарядів у поліетиленових рукавах для регулюванням об'ємної концентрації енергії вибуху.

Встановлено залежності щільності сумішевих ВР від вмісту й кількості КРУ, що забезпечує водостійкість вибухових сумішей. Для вибухової речовини типу полімікс ГР1/8 дослідженнями встановлено, що при вмісті КРУ 35 % за масою (понад 100 %) відбувається повне заповнення пор, при цьому забезпечується водостійкість ВР.

Експериментальними випробуваннями встановлено, що вибух ВР з КРУ значно більше прогинає металеву пластину, ніж вибух тієї ж ВР без КРУ. Найбільшу працездатність ВР показують не при повному заповненні міжгранульного простору. Зокрема, найбільший прогин пластини (90 мм) спостерігається при 10 % КРУ у складі комполайту ГС6, при забезпеченні повної водостійкості ВР працездатність комполайту ГС6 зменшується (прогин пластини становить 80 мм). Максимальний прогин пластини (80 мм) відбувається при підриванні поліміксу ГР1/8 із вмістом КРУ 18 %, при відсутності прогин пластини становить – 65 мм. При повному заповненні міжгранульного простору КРУ пластини прогинається на 70 мм. Перспективними є подальші дослідження з удосконалення складу вибухових речовин місцевого приготування для регулювання об'ємної концентрації енергії вибуху свердловинних зарядів на кар'єрах.

Список використаної літератури:

1. Крысин Р.С. Современные взрывчатые вещества местного приготовления / Р.С. Крысин, В.Н. Домничев. – Днепропетровск : Наука и образование, 1998. – 140 с.
2. Дошльнищын В.М. Опыт и перспективы использования взрывчатых веществ собственного изготовления / В.М. Дошльнищын, А.Н. Рыжков, М.В. Тимофеев // Горный журнал. – 2004. – № 9. – С. 50–53.
3. Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород / Э.И. Ефремов, В.М. Комир, И.А. Краснопольский, В.П. Мартыненко. – К. : Техника, 1990. – 149 с.
4. Ефремов Э.И. Опыт и перспективы применения простейших бестротильных ВВ со стабильными физическими и детонационными свойствами и ВВ на основе инверсии Ефремов / Э.И. Ефремов, В.Д. Петренко, В.Ф. Джос // Промышленные взрывчатые вещества и средства их инициирования: мат-лы 1-й Укр. конференц. – Шостка Сумской обл. : ГосНИИХП. – 1995. – Вып. 1. – С. 8–13.
5. Фролов О.О. Керування енергетичними потоками при вибуховому руйнуванні різномісних масивів гірських порід на кар'єрах : дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.15.03 / О.О. Фролов. – К., 2014. – 369 с.
6. Фролов О.О. Формування ефективних режимів детонаційних енергетичних потоків при багатоточковому ініціюванні свердловинних зарядів / О.О. Фролов // Гірничий вісник : зб. наук. праць. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КТУ». – 2014. – Вып. 98. – С. 12–16.
7. Прокопенко В.С. Физико-технические основы разрушения скальных пород взрывами скважинных зарядов взрывчатых веществ в рукавах : дис. ... докт. техн. наук / В.С. Прокопенко ; Национальный НИИ охраны труда. – К., 2003. – 376 с.
8. Фролов О.О. Руйнування скельних гірських порід вибухом свердловинних зарядів в рукавах / С.С. Кавун, О.О. Фролов // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: матеріали II міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, грудень 2017 р. / ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ», 2017. – С. 31–32.
9. Прокопенко В.С. Разрушение твердых горных пород взрывами скважинных зарядов ВВ в рукавах / В.С. Прокопенко, К.В. Лотоус. – К. : «Техновзрыв». – 2003. – 82 с.
10. Гидроизолированные заряды неводоустойчивых ВВ при взрывах / В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, В.С. Прокопенко, И.В. Косьмин // Уголь Украины. – К. : Техника. – № 10. – С. 15–18.
11. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1988. – 358 с.
12. Мельников Н.В. Регулирование объемной концентрации энергии ВВ как средство интенсификации горных пород взрывом / Н.В. Мельников, Г.П. Демидюк, Н.Ф. Адрианов. – М. : ИФЗ АН СССР, 1970.
13. Прокопенко В.С. Влияние жидких добавок холодного приготовления на свойства промышленных взрывчатых веществ / В.С. Прокопенко, К.В. Лотоус // Вісник НТУУ «КПІ» : зб. наук. праць. Серія : Гірництво. – К. : НТУУ «КПІ». – 2004. – Вып. 10. – С. 54–59.
14. Туручко І.І. Нові вибухові речовини з регульованою об'ємною концентрацією енергії / І.І. Туручко, І.В. Косьмін // Вісник НТУУ «КПІ» : зб. наук. праць. Серія : Гірництво. – К. : НТУУ «КПІ», 2002. – Вып. 5. – С. 52–56.
15. Прокопенко В.С. Разрушение горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах : монография / В.С. Прокопенко. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – 210 с.

References:

1. Krysin, R.S. and Domnichenov, V.N. (1998), *Sovremennye vzryvchatye veshchestva mestnogo prigotovleniya*, Nauka i obrazovanie, Dnepropetrovsk, 140 p.
2. Doil'nitsyn, V.M., Ryzhkov, A.N. and Timofeev, M.V. (2004), «Opyt i perspektivy ispol'zovaniya vzryvchatykh veshchestv sobstvennogo izgotovleniya», *Gornyy zhurnal*, No. 9, pp. 50–53.
3. Efremov, E.I., Komir, V.M., Krasnopol'skii, I.A. and Martynenko, V.P. (1990), *Resursoberegayushchie tekhnologii vzryvnogo razrusheniya gornykh porod*, Tekhnika, Kiev, 149 p.
4. Efremov, E.I., Petrenko, V.D. and Dzhos, V.F. (1995), «Opyt i perspektivy primeneniya prosteishikh bestrotilyovykh VV so stabil'nymi fizicheskimi i detonatsionnymi svoystvami i VV na osnove inversii», *Promyshlennyye vzryvchatye veshchestva i sredstva ikh initsirovaniya*, mater. 1-i Ukr. konferents, Vol. 1, GosNIIKhP, Shostka Sumskoi obl., pp. 8–13.
5. Frolov, O.O. (2014), *Keruvannja energetychnymi potokamy pry vybuhovomu rujnuvanni riznomicnisnyh masyviv girs'kyh porid na kar'jerah*, Dyss. of dokt. tehn. nauk, 05.15.03, Kyi'v, 369 p.
6. Frolov, O.O. (2014), «Formuvannja efektyvnykh rezhymiv detonacijnykh energetychnykh potokiv pry bagatotochkovomu inicijuvanni sverdlornykh zarjadiv», *Girnychyy visnyk*, zb. nauk. prac', Vol. 98, DVNZ «KTU», Kryvyj Rig, pp. 12–16.
7. Prokopenko, V.S. (2003), *Fiziko-tehnicheskie osnovy razrusheniya skal'nykh porod vzryvami skvazhinnykh zaryadov vzryvchatykh veshchestv v rukavakh*, Diss. of dokt. tekhn. nauk, Natsional'nyi NII okhrany truda, Kiev, 376 p.
8. Kavun, S.S. and Frolov, O.O. (2017), «Rujnuvannja skel'nykh girs'kyh porid vybuhom sverdlornykh zarjadiv v rukavakh», *Innovacijnyj rozvytok girnychodobuvnoi' galuzi: materialy II mizhnarodnoi' naukovy-tehnichnoi' internet konferencii'*, vid grudnja, DVNZ «KNU», Kryvyj Rig, pp. 31–32.
9. Prokopenko, V.S. and Lotous, K.V. (2003), *Razrushenie tverdyykh gornykh porod vzryvami skvazhinnykh zaryadov VV v rukavakh*, Tekhnovzryv, Kiev, 82 p.
10. Vorob'ev, V.D., Kryuchkov, A.I., Prokopenko, V.S. and Kos'min, I.V., «Gidroizolirovannyye zaryady nevodoustoichivykh VV pri vzryvakh», *Ugol' Ukrainy*, No. 10, Tekhnika, Kiev, pp. 15–18.
11. Dubnov, L.V., Bakharevich, N.S. and Romanov, A.I. (1988), *Promyshlennyye vzryvchatye veshchestva*, 3rd ed., pererab. i dop., Nedra, Moskva, 358 p.
12. Mel'nikov, N.V., Demidyuk, G.P. and Adrianov, N.F. (1970), *Regulirovanie ob'emnoi kontsentratsii energii VV kak sredstvo intensifikatsii gornykh porod vzryvom*, izd. IFZ AN SSSR, Moskva.
13. Prokopenko, V.S. and Lotous, K.V. (2004), «Vliyanie zhidkikh dobavok kholodnogo prigotovleniya na svoystva promyshlennykh vzryvchatykh veshchestv», *Visnik NTUU «KPI»*, zb. nauk. prats', Seriya Girmitstvo, «KPI», Vol. 10, NTUU, Kyi'v, pp. 54–59.
14. Turuchko, I.I. and Kos'min, I.V. (2002), «Novi vybuhovi rechovyny z regul'ovanoju ob'jemnoju koncentracijeju energii», *Visnyk NTUU «KPI»*, zb. nauk. prac', Seriya Girmictvo, NTUU «KPI», Vol. 5, Kyi'v, pp. 52–56.
15. Prokopenko, V.S. (2010), *Razrushenie gornykh porod skvazhinnyimi zaryadami vzryvchatykh veshchestv v rukavakh*, monografija, NTUU «KPI», Kiev, 210 p.

Фролов Олександр Олександрович – доктор технічних наук, професор кафедри геобудівництва та гірничих технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- буропідривні роботи на кар'єрах;
- розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: frolov@geobud.kiev.ua.

Куляпіна Аліна Володимирівна – студентка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

- буропідривні роботи на кар'єрах;
- розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: alyunya2806@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 26.04.2018