

О.С. Васильчук, магістр.**В.В. Вапнічна, к.т.н., доц.****А.Л. Ган, к.т.н., доц.***Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інституту ім. Ігоря Сікорського»*

Вплив ультразвукового опромінення на утримуючу здатність аміачної селітри

В Україні економічна ситуація значною мірою залежить від гірничо-металургійного комплексу, тому стало актуальним впровадження безпечних та ефективних вибухових речовин для видобутку корисних копалин шляхом відмови від тротилу та застосування гранульованих ВР, а саме аміачної селітри (АС). Основною перевагою вибухових речовин (ВР) на основі АС є їх дешевизна, також, вони не містять індивідуальних ВР і характеризуються високою енергією вибуху. До гранульованої аміачної селітри сільськогосподарського призначення додають 4–6 % рідкого палива (дизельне паливо, олива індустріальна), після перемішування деяка, невелика частина палива залишається на поверхні гранул і фактично не всмоктується. Така суміш отримала назву – ігданіти. Основним недоліком ігданітів є поступове стікання з поверхні гранул рідкого палива. Через деякий час після змішування дизельного палива і аміачної селітри, вміст рідкого компонента знижується на 30–70 %, оскільки паливо стікає в нижню частину свердловини (шпура), що може призвести до зниження ефективності вибуху або до повної відсутності детонації.

Основною метою даного дослідження є покращення утримуючої здатності аміачної селітри відносно рідкого палива, для цього експериментально отримано залежність утримуючої здатності від часу обробки її ультразвуком для щільної та пористої аміачної селітри. В результаті дослідження встановлено, що зі збільшенням часу впливу ультразвуку на аміачну селітру збільшується її утримуюча здатність. Це зумовлено тим, що частина гранул руйнується і збільшується активна площа, яка утримує дизельне паливо. Наукова новизна полягає в тому, що вперше було досліджено вплив ультразвукового випромінювання на утримуючу здатність аміачної селітри відносно дизельного палива. Дана вибухова речовина, після обробки ультразвуком, буде мати рівномірне розподілення рідкої фази по всьому заряду, а відповідно і стабільні вибухові характеристики.

Вперше було встановлено залежність утримуючої здатності аміачної селітри після ультразвукової обробки і визначено, що для щільної аміачної селітри після 2, 4, 6 хвилин обробки ультразвуком утримуюча здатність збільшилася на 28,8 %, 83,1 %, 62 % відповідно, а для пористої аміачної селітри – 22,62 %, 45,5 %, 34,6 %. Найбільше значення утримуючої здатності досягається після 4 хвилин обробки ультразвуком.

Ключові слова: аміачна селітра; утримуюча здатність; дизельне паливо; ультразвук; ігданіт; вибухова речовина.

Вступ. В наш час виробництво вибухових речовин (ВР) зосереджено на спеціальних підприємствах, що значно збільшує вартість внаслідок навантажувально-розвантажувальних робіт, транспортування і забезпечення безпеки при зберіганні і транспортуванні, збільшення часу між виробництвом та використанням вибухової речовини. Тому на гірничих підприємствах відкритого типу застосовують вибухові речовини безпосередньо на місцях проведення вибухових робіт.

ВР, які виготовляють на місцях проведення вибухових робіт, прийнято називати вибуховими речовинами місцевого приготування.

Практично всі ВР є сумішевими системами. Основу вибухових сумішей становлять базові речовини, які можуть бути вибуховими вже в початковому стані, як наприклад, в сумішах на основі тротилу, гексогену, октогена тощо або окислювачами, як це реалізовано в сумішах на основі аміачної селітри. Додаткові компоненти до основних речовин в сумішевих системах виконують роль базових або додаткових горючих (окислювачів).

Суміші аміачної селітри (АС) і дизельного палива отримали назву ігданіти. Найбільш ідеальним складом є 94–94,5 % аміачної селітри і 5,5–6 % дизельного палива. Така проста вибухова речовина має низьку вартість та легка в приготуванні. Відомо, що утримуюча здатність таких вибухових систем становить близько 2–2,5 %. Тому, при тривалому зберіганні частина рідкої фази мігрує в нижню частину заряду, що в подальшому може привести до відмови або зменшення енергії вибуху. Як правило, такі суміші використовують на протязі тієї ж зміни в яку була виготовлена вибухова речовина.

Таким чином, спроба покращити утримуючу здатність АС відносно ДП є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для підвищення утримуючої здатності в роботі [1] автором була запропонована технологія термо-вакуум-імпульсного просочення аміачної селітри дизельним паливом, що збільшує утримуючу здатність АС різних марок за рахунок видалення повітря і водяного пару з дрібних капілярів, за рахунок цього збільшується питома поверхня АС і зусилля абсорбційних зв'язків з необхідною кількістю ДП на збільшення активної поверхності АС. Процес сушіння АС дозволяє збільшити активну площу поверхні через збільшення кількості капілярів АС, що призводить до видалення вологи і збільшення вибираючої здатності гранул.

Автори [2] пропонують перед змішуванням аміачної селітри з дизельним паливом, оброблювати гранули АС розчином ортофосфорної кислоти, що підвищує її пористість і при подальшому нагріванні до 60–65°C та одночасним змішуванням гарячої АС з дизельним паливом, після чого суміш охолоджують. Значна робіт [7–16] присвячена виготовленню вибухових речовин, але вплив ультразвукового випромінювання на утримуючу здатність аміачної селітри з дизельним паливом розглянутий недостатньо.

Постановка завдання. Визначення впливу ультразвукового випромінювання на утримуючу здатність аміачної селітри з дизельним паливом.

Методи дослідження. Експеримент – визначення пористості та утримуючої здатності аміачної селітри з паливним компонентом під впливом ультразвуку; порівняння досліджуваних зразків суміші аміачної селітри з дизельним паливом; спостереження.

Виклад основного матеріалу. Дослідження утримуючої здатності відносно дизельного палива проводили за найбільш поширеною в країні методикою визначення залишку рідкого пального (зокрема, ДП) в суміші з АС під дією сил тяжіння – статичний метод.

Послідовність проведення дослідження полягає в наступному: спочатку пробу АС масою 100 г засипали в склянку ємністю 600 см³. ДП масою 20 г наливали в хімічний стакан і перенесли в склянку з аміачною селітрою таким чином, щоб рідина рівномірно змочила всі гранули. Для цього аміачну селітру і дизельне паливо ретельно перемішували. Просочення гранул ДП тривала протягом 20 хв, після чого суміш розміщували на сито і не вбране в гранули дизельне паливо вільно стікало з сита протягом 1 доби.

Дослідження утримуючої здатності аміачної селітри після обробки її ультразвуком виконували аналогічним чином.

Джерелом акустичного випромінювання є ультразвуковий генератор УЗГ5-1,6/22 (рис. 1).



Рис. 1. Ультразвуковий генератор УЗГ5-1,6/22

Обробка аміачної селітри ультразвуком проводилась таким чином. Від ультразвукового генератора УЗГ до обмотки перетворювача підводиться дві напруги: постійна і змінна. Під дією постійної напруги через обмотку 8-ми пакетів протікає постійний струм поляризації. Перемінна напруга створює струм збудження. В двигуні, таким чином, створюються поздовжні механічні коливання. Ці коливання передаються на діафрагму (на якій розміщена суміш АС/ДП) і далі на воду, яку наливають таким чином, щоб її рівень був рівний суміші АС/ДП в склянці (рис. 2). Кавітація, яка утворює умови для переходу суміші у високодисперсний стан з утворенням однорідної і хімічно чистої суміші. В процесі обробки, при виборі оптимального значення інтенсивності ультразвуку варто мати на увазі, що при занадто малій інтенсивності кавітаційні процеси не розвиваються, а надмірне підвищення інтенсивності для даної частоти приводить до значного зростання розтягуючих зусиль максимального радіуса кавітаційної площини, що приводить до послаблення кавітаційних процесів. Поріг кавітації залежить від фізико-хімічних властивостей рідини і особливо від частоти ультразвуку.

Акустична кавітація є ефективним засобом перетворення енергії звукової хвилі низької щільності в енергію високої щільності, пов'язану з пульсаціями і утворенням кавітаційних бульбашок. У фазі розрідження акустичної хвилі в рідині утворюється розрив у вигляді порожнини, яка заповнюється насиченою парою цієї рідини. У фазі стиснення під дією підвищеного тиску і сил поверхневого натягу

порожнину зачинається. Через стіни порожнини в неї проникає розчинений у рідині газ, який потім піддається сильному адіабатичному стисненню [3].



Рис. 2. Розміщена проба АСДП на діафрагмі з заповненою водою

Так, для збудження кавітації у воді при 20 кГц потрібна інтенсивність звуку близько 1 Вт/см², при 200 кГц – 10 Вт/см², при 500 кГц – 200 Вт/см², а при 3 мГц – 50 кВт/см² [4]. Ультразвукова дія на суміші протікає при частоті 22±1,65 кГц при інтенсивності звуку в межах від часток Вт/см² до декількох Вт/см².

Таблиця 1

Режим роботи УЗГ5-1,6/22 [5]

Назва	Величина
Напруга живлячої мережі, В	220/380
Число фаз	3 з нулем
Частота живлячої мережі, Гц	50
Максимальна потужність, споживана від мережі, кВА	4
Потужність вихідна номінальна, кВт	1,6
Робоча частота, кГц	22±1,65

Утримуюча здатність визначалась як для звичайної аміачної селітри, так і для обробленої ультразвуком протягом 2, 4 та 6 хвилин частотою 22±1,65 кГц. У даній статті досліджувались щільна та пориста аміачна селітра і дизельне паливо, яке відповідає сучасним стандартам якості та вимогам екологічного стандарту ЄВРО 5.

Визначення утримуючої здатності проводилось за таким алгоритмом [6].

Середня маса аміачної селітри з утриманим маслом визначається за формулою:

$$m_{сер} = \frac{m_1 + m_2}{2}; \quad (1)$$

де m_1, m_2 – маса утриманого ДП двох зразків для АС.

Утримуюча здатність аміачної селітри визначається за формулою:

$$X = \frac{m_{сер} - m}{m_{сер}} \cdot 100 \cdot \quad (2)$$

де m – маса проби аміачної селітри.

Результати досліджень. В таблиці 2 наведено отримані результати утримуючої здатності аміачної селітри відносно дизельного палива без та з обробкою її ультразвуком протягом 1 доби [6].

Таблиця 2

Утримуюча здатність АС відносно ДП

Селітра	Утримуюча здатність, %	Збільшення утримуючої здатності після УЗ обробки порівняно з початковою утримуючою здатністю, %
Щільна		
АС+ДП без УЗ	2,84	–
АС+ДП УЗ (2хв)	3,66	28,8
АС+ДП УЗ (4хв)	5,2	83,1
АС+ДП УЗ (6хв)	4,6	62
Пориста		
АС+ДП без УЗ	4,416	–
АС+ДП УЗ (2хв)	5,415	22,62
АС+ДП УЗ (4хв)	6,424	45,5
АС+ДП УЗ (6хв)	5,944	34,6

Утримуюча здатність щільної та пористої аміачної селітри без ультразвукової обробки має досить низькі показники, що становлять: для щільної АС – 2,84 %, для пористої АС – 4,416 %, що значно менше від необхідної кількості, що становить 5,5–6 % дизельного палива в капілярах.

Після ультразвукової обробки значення утримуючої здатності для щільної АС після 2 хвилин обробки становить 3,66 % (збільшилася на 28,8 %, порівняно з початковою) та після 6 хвилин обробки становить – 4,6 % (збільшилась на 62 %, порівняно з початковою), що також не задовольняє фізичну стабільність даної простої вибухової речовини АС/ДП. Найбільш оптимальними значеннями утримуючої здатності для щільної АС після 4 хвилин обробки, що становить 5,2 % (збільшилася на 83,1 %). Для пористої АС утримуюча здатність після обробки її протягом 2, 4, 6 хвилин становить відповідно: 5,415 %, 6,424 %, 5,944 % (утримуюча здатність збільшилася на 22,62 %, 45,5 %, 34,6 % відповідно)

За результатами експериментальних досліджень було побудовано залежності утримуючої здатності АС від часу її обробки ультразвуком (рис. 3, 4) [6].

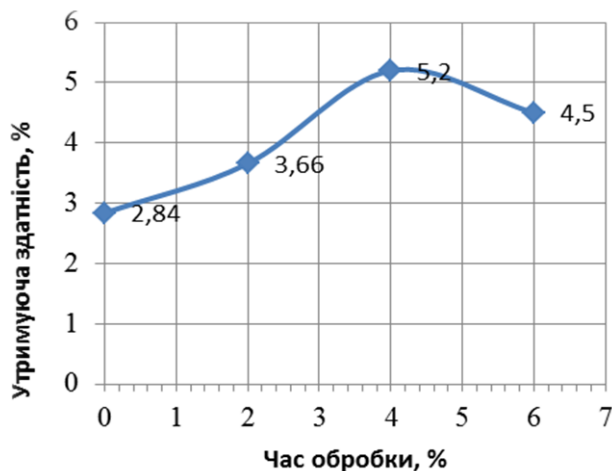


Рис. 3. Аналіз впливу ультразвукової обробки на утримуючу здатність щільної аміачної селітри

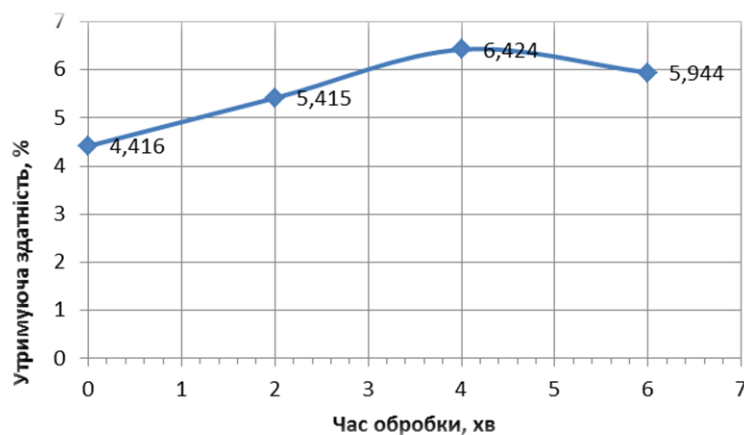


Рис. 4. Аналіз впливу ультразвукової обробки на утримуючу здатність пористої аміачної селітри

Аналіз експериментальних досліджень свідчить про те, що обробка АС ультразвуком дозволяє збільшити її утримуючу здатність. Причому ця залежність носить нелінійний характер. Тобто, на першому етапі при збільшенні часу обробки ультразвуком до 4 хвилин утримуюча здатність АС збільшується і становить максимум. Подальше збільшення часу обробки АС ультразвуком призводить до зменшення її утримуючої здатності. Ця закономірність спостерігається як для пористої, так і для щільної АС.

Зниження утримуючої здатності АС при обробці її ультразвуком протягом 4 хвилин і більше можна пояснити тим, що при тривалій дії ультразвуку починають руйнуватись самі гранули, що призводить до збільшення щільності самої АС, а відповідно, зменшення її активної поверхні [6].

Висновки.

1. Отримано залежність впливу ультразвукової обробки на утримуючу здатність аміачної селітри відносно дизельного палива.

2. Встановлено найбільш оптимальний час обробки АС ультразвуком, який становить 4 хвилини як для пористої, так і щільної АС.

3. Тривалий час обробки призводить до руйнування гранул аміачної селітри, що супроводжується збільшенням щільності АС і зменшенням її активної поверхні, а це в свою чергу призводить до зменшення утримуючої здатності АС.

Список використаної літератури:

1. Изучение удерживающей способности аммиачной селитрой дизельного топлива / С.Ю. Игнатьева, В.Я. Базотов, В.Ф. Мадякин и др. // Вестник технологического университета. – 2016. – № 5 – С. 52–55.
2. Пат. 106118 Україна, МПК С06В31/28, F42D3/04. Спосіб виготовлення гранульованих вибухових сумішей для пневматичного заряджання із аміачної селітри і рідкого палива / В.П. Купрін, О.В. Купрін, М.І. Іщенко, М.В. Савченко, І.Л. Коваленко. – № у 2015 13112 ; заявл. 30.12.2015 ; опубл. 11.04.2016, Бюл. № 7.
3. Промтов. М.А. Кавитация / М.А. Промтов. – 2006. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort=&id=3>.
4. Ultraonic enhancement of ultrafiltration / J.Chen, K.Xiao, S.Guo, L.Li // J. Acta acustica. – 2002. – № 21. – Рр. 45–48.
5. Генератор ультразвуковой : паспорт УЗГ5-1,6/22. – 1976. – 49 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.prompasport.ru/index.php/prochie-pasporta/bloki-chpu-uchpu-uci/1634-uzg5>.
6. Васильчук О.С. Удосконалення властивостей вибухової речовини під дією впливу фізико-механічних чинників : дис. ... магістр-та : спец. 184 Гірництво / О.С. Васильчук. – Київ, 2018. – 83 с.
7. Korobiichuk V. Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / V.Korobiichuk // International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016. – Springer International Publishing, 2016. – С. 653–658.
8. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / R.Sobolevskiy, V.Korobiichuk, S.Iskov, I.Pavliuk, A.Kryvoruchko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6 / 3 (84). – Рр. 32–40.
9. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
10. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної динаміки вибуху : монографія / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.
11. Коробійчук В.В. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменя / В.В. Коробійчук, Р.В. Соколевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2006. – № 4 (39). – С. 301–308.
12. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїшинський, О.О. Ремезова, Р.В. Соколевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2007. – № 3 (42). – С. 143–150.
13. Дія вибуху розосередженого заряду в скельних ґрунтах / В.В. Бойко, А.О. Кузьменко, О.М. Чала, Т.В. Хлевнюк, Д.В. Хлевнюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2013. – № 1 (79). – С. 153–159.
14. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / V.Korobiichuk et al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 2, No. 5 (92), Рр. 20–25.
15. Коробійчук В.В. Метод оцінки тиску, що виникає при тепловому розширенні кристалів солей і льоду в порах природного каменя / В.В. Коробійчук // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2011. – № 3 (58). – С. 176–179.
16. Коробійчук В.В. Залежність внутрішньопорового тиску від пружних властивостей природного каменя / В.В. Коробійчук // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2012. – № 1 (60). – С. 123–126.

References:

1. Ignat'eva, S.Ju., Bazotov, V.Ja., Madjakin, V.F. and others (2016), «Izuchenie uderzhivajushhej sposobnosti ammiachnoj selitroj dizel'nogo topliva», *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*, No. 5, pp. 52–55.
2. Kuprin, V.P., Kuprin, O.V., Ishhenko, M.I., Savchenko, M.V. and Kovalenko, I.L. (2016), *Sposib vygotovlennja granul'ovanyh vybuhovyh sumishej dlja pnevmatichnogo zarjadzhannja iz amiacnoi' selitry i ridkogo palyva* [Method for manufacturing granular explosive mixtures for pneumatic charging from ammonium nitrate and liquid fuel] МПК S06V31/28, F42D3/04, Ukraïna, zajavl. № u 2015 13112, vid 30 grudnja, opubl. vid 11 kvitnja, Bjul. No. 7, Pat. 106118.
3. Promtov, M.A. (2006), *Kavytacyja*, [On-line], available at: <http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort=&id=3>
4. Chen, J., Xiao, K., Guo, S. and Li, L. (2002), «Ultraonic enhancement of ultrafiltration», *J. Acta acustica*, No. 21, pp. 45–48.
5. www.prompasport.ru (1976), «Generator ul'trazvukovoj», passport UZG5-1,6/22, 49 p., [On-line], available at: <http://www.prompasport.ru/index.php/prochie-pasporta/bloki-chpu-uchpu-uci/1634-uzg5>
6. Vasylychuk, O.S. (2018), *Udoskonalennja vlastyvostej vybuhovoi' rehovyny pid dijeju vplyvu fizyko-mehanichnyh chynnykiv*, Dyss. of magistranta, spec. 184 *Girnyctvo*, Kyi'v, 83 p.

7. Korobiichuk, V. (2016), «Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures», *International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016*, Springer International Publishing, pp. 653–658.
8. Sobolevskiy, R., Korobiichuk, V., Iskov, S., Pavliuk, I. and Kryvoruchko, A. (2016), «Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6 / 3 (84), pp. 32–40.
9. Zakusylo, R.V., Kravec', V.G. and Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasoby inicijuvannya promyslovykh zarjadiv vybuhovykh rehovyn*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
10. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizychni procesy prykladnoi' geodynamiky vybuhu*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 408 p.
11. Korobijchuk, V.V., Sobolevskiy, R.V. and Zubchenko, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizacii' vytrat pry burovybuhovomu sposobi vydobuvannya blokiv dekoratyvnogo kamenja», *Visnyk Zhytomys'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4 (39), Zhytomyr, pp. 301–308.
12. Korobijchuk, V.V., Podchashyns'kyj, Ju.O., Remezova, O.O., Sobolevskiy, R.V. and Zubchenko, O.A. (2007), «Doslidzhennja vplyvu burovybuhovykh robit na jakist' blochnoi' produkcii' kar'jeru na osnovi vyznachennja geometrychnyh harakterystyk i' trishhynuvatosti», *Visnyk Zhytomys'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (42), Zhytomyr, pp. 143–150.
13. Bojko, V.V., Kuzmenko, A.O., Chala, O.M., Hlevnjuk, T.V. and Hlevnjuk, D.V. (2013), «Dija vybuhu rozoseredzhenogo zarjadu v skel'nyh g'runtah», *Visnyk Zhytomys'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (79), Zhytomyr, pp. 153–159.
14. Korobijchuk, V. and others (2018), «Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, No. 5 (92), pp. 20–25.
15. Korobijchuk, V.V. (2011), «Metod ocinky tysku, shho vynykaje pry teplovomu rozshyrenni krystaliv solej i l'odu v porah pryrodnogo kamenju», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (58), pp. 176–179.
16. Korobijchuk, V.V. (2012), «Zalezhnist' vnutrishn'oporovogo tysku vid pruzhnyh vlastyvoستي pryrodnogo kamenju», *Visnyk ZhDTU*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (60), pp. 123–126.

Васильчук Олександр Сергійович – магістрант кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

E-mail: casha-v95@ukr.net.

Вапнічна Вікторія Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

E-mail: v.vapnichna@kpi.ua.

Ган Анатолій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

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

Стаття надійшла до редакції 11.05.2018.