

В.В. Бойко, д.т.н., проф.

О.В. Ган, аспір.

*Науково-дослідна лабораторія з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів
Інституту гідромеханіки Національної академії наук України*

В.Г. Кравець, д.т.н., проф.

А.Л. Ган, к.т.н., доц.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Спосіб приготування та добір компонентного складу спіненних вибухових композицій для ущільнення просадних ґрунтів

Запропоновано пристрій для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції, який можна використовувати в польових умовах при ущільненні просадних нестійких ґрунтів. Спінена водонаповнена вибухова композиція складається з аміачної селітри, поверхнево-активних речовин (ПАР) і води.

Обґрунтовано спосіб приготування спіненої вибухової композиції, який полягає у змішуванні ПАР з водою, а потім з аміачною селітрою механічним шляхом у низькошвидкісному режимі без спінювання суміші, подачу цієї суспензії під тиском до об'єкта проведення підризних робіт та дозованою аерацією його за рахунок ежектування повітря потоком суміші з прямою видачею спіненої вибухової композиції до місця застосування.

Запропоновано добір компонентного складу водонаповнених спіненних вибухових композицій низької щільності, наведено їхні фізико-технічні та динамічні характеристики.

Досліджено динамічні та фізико-технічні характеристики малоціільних спіненних вибухових композицій і встановлено, що мінімальна швидкість детонації цих ВР у відкритих зарядах та в зарядах у жорсткій оболонці менше ніж мінімальна швидкість детонації у штатного амоніту № 6ЖВ; бризантність спіненних вибухових композицій не перевищує $(10-11) \cdot 10^{-3} \text{м}$, що практично вдвічі менша, ніж у ігданіту і втричі менша, ніж у амоніту № 6ЖВ; децю більший час наростання тиску в імпульсі до максимуму у спіненних вибухових композицій порівняно з ігданітом; тиск на фронті хвилі у спіненних вибухових композицій у 6-7 разів менший, ніж у амоніту № 6ЖВ відповідно і значно менша швидкість наростання тиску в імпульсі. Такі параметри вибухового імпульсу ВР дають можливість використовувати спіненні вибухові композиції для рівномірного ущільнення просадних лесових ґрунтів на необхідну потужність та при розмінуванні мінних полів.

Ключові слова: *просадні ґрунти; водонаповнена спінена вибухова композиція; пристрій; аміачна селітра; поверхнево-активні речовини.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями. В Україні просадні нестійкі ґрунти займають 65 % території, більшість якої відведена під забудову. В умовах освоєння місцевості суттєвою проблемою є високий ступінь просідання (до 40 %) особливо лесових ґрунтів в умовах природного або техногенного зволоження. Існуючі способи ліквідації просадних властивостей лесових ґрунтів класифікуються на фізико-хімічні і фізико-механічні.

Фізико-хімічні способи ліквідації просадних властивостей лесових ґрунтів забезпечують високу міцність ґрунтів після їх застосування, однак висока вартість закріплення ґрунту, необхідність застосування спеціального обладнання, обмежена глибина обробки, відсутність надійного методу контролю обмежує широке застосування цих методів у будівельній практиці. Тому вони застосовуються, головним чином, при відновленні аварійних будівель та спорудженні відповідальних цивільних і промислових споруд [1].

Досвід підготовки основ під будівництво показує, що найбільш широке застосування отримали механічні методи ліквідації просадних властивостей ґрунтів (ущільнення важкими трамбівками і ґрунтової подушки). Низька вартість робіт і проста технологія цих методів забезпечили широке впровадження їх в будівельну практику [2].

Однак при цьому необхідно виокремити ряд негативних факторів: сезонність проведення робіт, нерівномірність ущільнення, відсутність спеціального обладнання, значні терміни виконання робіт, придатність переважно для ґрунтових умов I типу просідності.

Проста технологія глибинних вибухів може забезпечити широке застосування методу в практику будівництва при подальшому вдосконаленні технології виконання вибухових робіт з врахуванням параметрів вибухових речовин.

Удосконалення вибухової технології має бути спрямоване на розробку нових низькошвидкісних вибухових сумішей низької щільності з метою отримання необхідного рівномірного ущільнення по всій площі на необхідну глибину з можливістю керування сейсмічним ефектом вибуху. Тому розроблення способу приготування спіненої вибухової композиції та пристрою для її приготування є **актуальним** завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Необхідність ліквідації просідання всієї товщі, особливо в ґрунтових умовах II типу просідності, посприяла застосуванню методів ущільнення з використанням енергії вибуху.

Відомо, що ущільнення ґрунтів вибухами було розпочато ще у 1936 р. М.М. Масловим і Н.А. Філімоновим при будівництві Верхньо-Свирської ГЕС [3]. Однак велика кількість тріщин, що виникли внаслідок недостатнього водонасичення ущільнюваних ґрунтів, призвела до критичного ставлення щодо цього методу.

Пізніше, в 1939–1940 рр., серією глибинних вибухів були успішно ущільнені піщані ґрунти в основі земляної греблі «Франклін» в США.

У 1951 р. В.А. Флорін запропонував ущільнити піщану основу однієї з гребель глибинними вибухами. Рідкісне застосування методу глибинних вибухів і їх занадто короткі описи не дозволяли призначити масу зарядів, глибину їх закладання, розташування в плані і технологію проведення робіт [4].

Івановим П.Л. була розроблена методика ущільнення піску груповими зарядами і ущільнена дослідна ділянка на одному з островів Волги.

У 1954–1956 рр. під керівництвом Г.М. Ляхова на будівництві Волзької ГЕС були проведені великі польові дослідження дії вибуху в водонасичених піщаних ґрунтах. Істотним результатом роботи було детальне вивчення властивостей ударних хвиль у водонасичених пісках і вплив на ці параметри ґрунтового середовища. Позитивні результати ущільнення незв'язаних ґрунтів вибухами дозволили приступити до вивчення можливості їх застосування для ліквідації просадних властивостей лесових ґрунтів.

У 1964 р. успішно пройшов виробничий експеримент, запропонований І.М. Литвиновим, метод ущільнення попередньо замочених лесових ґрунтів глибинними вибухами [5].

При цьому способі ущільнення просадних ґрунтів можна виробляти на практично будь-яку глибину (10–30 м і більше). Здійснюється воно шляхом попереднього регульованого замочування нагнітанням води через спеціальні дренажні поглинаючі свердловини за умови доведення ущільнюваної товщі ґрунту до граничної вологості, яка вводить його в нестійкий стан.

Характерним для способу глибинного ущільнення просадних ґрунтів є буріння вертикальних вибухових і нагнітальних свердловин із застосуванням металевих обсадних труб, що істотно ускладнює технологію проведення ущільнюючих робіт.

У гідромеліоративному будівництві застосована також технологія ущільнення просадних ґрунтів з використанням подовжених горизонтальних зарядів. У зарубіжній практиці також відомі роботи щодо форсованого ущільнення ґрунтів за допомогою енергії вибуху, де спостерігається висока ефективність цієї технології [6–8]. Беручи до уваги, що метод ущільнення просадних лесових ґрунтів за допомогою енергії вибухів застосовується на забудованих територіях, особливої важливості набуває питання управління вибуховим імпульсом з метою зниження шкідливого сейсмічного впливу на навколишні споруди. При розробці родовищ корисних копалин існує потреба в ущільненні ґрунтів при веденні розкривних робіт, що забезпечує стійкість бортів кар'єрів [13–24]. Актуальним для вирішення цієї проблеми є розроблення нових низькошвидкісних вибухових сумішей з менш інтенсивним тривалим імпульсом для забезпечення рівномірного ущільнення на необхідну товщу просадних лесових ґрунтів.

Метою є розроблення пристрою для приготування водонаповненої спіненої композиції та добір компонентів спінених вибухових композицій.

Викладення основного матеріалу. Традиційно водонаповнені спінені вибухові композиції складаються з аміачної селітри, поверхнево-активних речовин (ПАР) і води [9]. Композиції такого типу призначалися для ведення робіт у гірничорудній промисловості в шпурових і накладних зарядах незначної площі при руйнуванні негабариту, видобутку штучного каменю та розмінуванні мінних полів. Приготування таких композицій полягає у змішуванні ПАР з водою, а потім з аміачною селітрою механічним шляхом, що призводить до спінення суміші. Час перемішування становить 15–25 хв [10].

При застосуванні водонаповнених спінених вибухових композицій для ущільнення просадних нестійких ґрунтів необхідно забезпечити відповідну продуктивність і рівень безпеки робіт при виготовленні значних об'ємів готового продукту для великих зарядів.

Для вирішення наведених вище завдань запропоновано пристрій, принцип роботи якого полягає в інтенсифікації процесу аерації великих об'ємів продукту і підвищенні безпеки робіт [11].

Поставлені цілі досягаються тим, що механічне змішування розчину ПАР і аміачної селітри проводять у низькошвидкісному режимі без спінювання суміші подачею цієї суспензії під тиском до об'єкта проведення підривних робіт та дозованою аерацією його за рахунок ежекування повітря потоком суміші з прямою видачею спіненої вибухової композиції до місця застосування .

Цим досягається підвищення безпеки робіт, оскільки неспінена суміш розчину ПАР і аміачної селітри не чутлива до удару і тертя, а вибухові властивості цієї суспензії проявляються тільки після насичення суміші бульбашками повітря при виході потоку піносуспензії з ежектора. Крім того, ежекторний прямооточний метод дозволяє виробляти значні об'єми спіненого вибухового композиту.

Зазначений спосіб здійснюється за допомогою пристрою (рис. 1), який включає в себе бункер аміачної селітри, ємності з ПАР, водою і розчином ПАР, механічний змішувач. Особливістю цього пристрою є те, що він містить низькошвидкісний механічний змішувач, накопичувальну ємність, насос, сопло, ежектор, вентиль-тримач повітря і пінний ствол.

Пристрій працює таким чином. Селітра з бункера 1 надходить у змішувач 5, в який дозується розчин ПАР з ємності 4. Готова суспензія надходить у накопичувальну ємність 6. Насосом 7 суспензія при необхідності подається під тиском в сопло 8. Швидкісний потік суспензії надходить в ежектор 9 і засмоктує повітря, що надходить з атмосфери через вентиль-дозатор 10. Потік аерується, тобто насичується високодисперсними бульбашками повітря. Отримана піносуспензія надходить у пінний ствол 11 і вже як спінена вибухова композиція подається безпосередньо до місця ведення вибухових робіт.

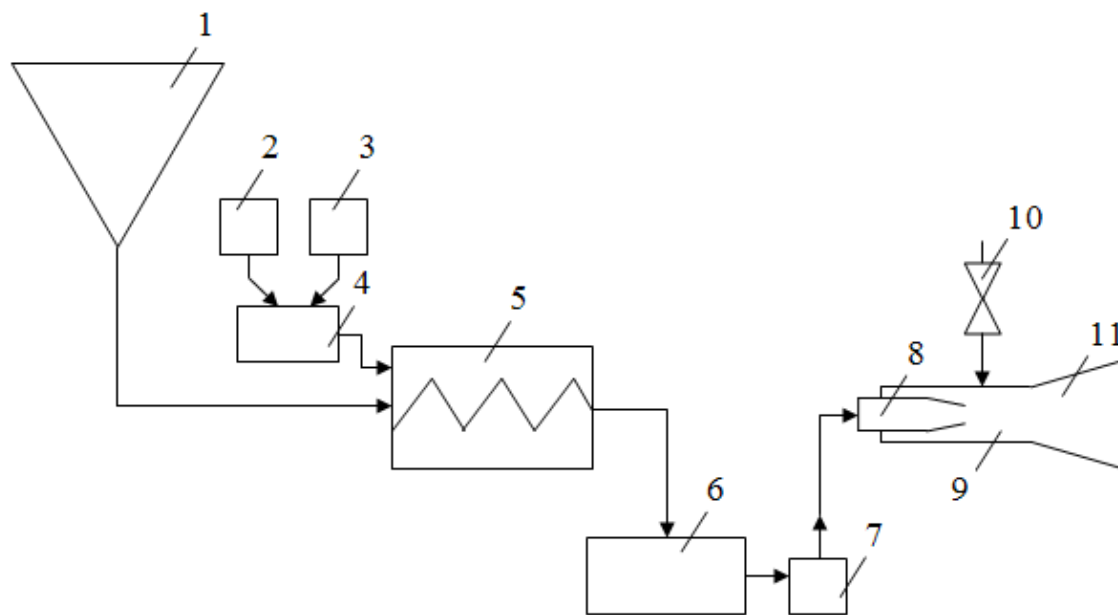


Рис. 1. Загальний вигляд пристрою для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції:
1 – бункер аміачної селітри, 2 – ємність ПАР, 3 – ємність води, 4 – ємність водного розчину ПАР,
5 – низькообертовий механічний змішувач, 6 – накопичувальна ємність суспензії, 7 – насос, 8 – сопло,
9 – ежектор, 10 – вентиль-дозатор повітря, 11 – пінний ствол

Для забезпечення необхідного рівномірного ущільнення по всій площі на необхідну глибину запропоновано добір компонентного складу водонаповнених спієних вибухових композицій низької щільності на основі аміачної селітри, ПАР і води (табл. 1).

Піноутворювачі є поверхнево-активними речовинами першого класу на основі низькомолекулярних з'єднань дифільного характеру, що мають гідрофільну частину (одну або кілька полярних груп, наприклад $-OH$, $-COOH$, $-SO_3H$, $-OSO_3H$, $COOMe$, $N^+(CH_3)_3J^-$, $-NH_2$) і гідрофобний аліфатичний ланцюг, іноді містять ароматичну групу.

За хімічними властивостями ПАР поділяються на аніоноактивні (наприклад, солі карбонових кислот, алкілсульфати, алкілсульфонати), катіоноактивні (наприклад, четвертинні амонієві основи, солі амінів) і неіоногенні (спирти, ефіри тощо).

ПАР – це багатоатомні органічні молекули, тому головним є питання про взаємозв'язок між будовою молекул і їх поверхнево-активними властивостями. Згідно з правилом Траубе, при збільшенні числа атомів вуглецю в алкільному ланцюгу поверхнева активність зростає в 3,2 на кожен атом $=CH_2$. Причини, що обумовлюють таку поведінку ПАР, пояснюються тим, що поверхнева активність визначається роботою адсорбції, тобто збереженням енергії від переходу молекули ПАР з об'єму фази на поверхню, яка на одну метиленову групу становить 3 кДж/моль. Звідси ряд дослідників робить висновки, що кожна група $=CH_2$ розташована по відношенню до поверхні так само, як будь-яка інша група в ланцюзі, а це може бути тільки при горизонтальному розташуванні.

ПАР першого класу належать до колоїдних або міцелярнорозчинних, другого класу – до неколоїдних або молекулярнорозчинних. Перше застосування ПАР першого класу знайшли місце як миючі засоби, емульгатори і піноутворювачі. Неколоїдні ПАР застосовують як співемульгатори або стабілізатори ПАР.

Таблиця 1

Компонентний склад і характеристики водонаповнених спінених вибухових композицій низької щільності

№ з/п	Компоненти ВР	Вміст компонентів, мас. %			
		Суміш I по а. с. 1436448	Суміш II по а. с. 1531401	Суміш III по а. с. 1561483	Суміш IV по а. с. 1600303
1	Аміачна селітра	92,0–93,3	89,8–92,9	86,5–88,5	90,5–91,5
2	Сульфосоли – контакт чорний нейтралізований, рафінований	2,0–4,0	2,0–4,0	–	–
3	Рафінований алкіларілсульфонат	1,5–3,5	–	5,0–7,0	5,0–7,0
4	Етилендіамін	0,2–0,5	–	–	–
5	Алкілсульфати натрію	–	1,0–3,0	–	–
6	Контакт Петрова	–	–	1,0–3,0	–
7	Карбоксиметилцелюлоза	–	–	0,5–1,5	–
8	Алкілсульфати натрію (вторичн.)	–	–	–	1,0–3,0
9	Поліакриламід	–	–	–	0,5–1,5
10	Вода	1,0–2,0	2,0–5,0	3,0–4,0	–
Характеристики					
1	Щільність, кг/м ³	500–800	500–800	200–350	200–250
2	Кратність піни	1,8–3,0	1,8–3,0	3,6–4,0	3,6–4,2
3	Критичний діаметр, 10 ⁻³ м				
	- відкритого заряду	50–70	50–80	50–70	60–90
	- в жорсткій оболонці	30–40	30–40	30–40	30–40
4	Фізична стабільність в інтервалі температур від +30 до -10 °С:				
	- у відкритій посудині, год.	9–10	10–12	14–17	20–24
	- у закритій посудині, діб	5–7	6–7	5–8	–
5	Теплота вибуху, 10 ³ Дж/кг	3500–3770	3520–3780	3500–3700	3500–3700
6	Мінімальний ініціюючий імпульс				
	- відкритого заряду, кг ТНТ	0,01–0,03	0,01–0,03	0,01–0,03	0,01–0,02
	- в жорсткій оболонці	ЕД-8	ЕД-8	ЕД-8	ЕД-8
7	Льодостійкість	нельодостійкі			

Тому більшість практично важливих промислових емульгаторів і піноутворювачів є складними сумішами поверхнево-активних речовин. У результаті на межі розподілу емульсій або піни відбувається адсорбція відразу кількох речовин. Однак процес адсорбції навіть двох ПАР вивчений недостатньо, що суттєво ускладнює завдання отримання стабільної піни.

Піна – висококонцентрована гетерогенна система газ-рідина, в якій бульбашки газу розділені тонкими плоскими прошарками рідини, що утворюють замкнуту решітку. Від висококонцентрованої емульсії піни відрізняються тим, що рідина дисперсної фази замінена газом.

Принципово причини стійкості пін ті самі, що й у висококонцентрованих емульсій, однак наявність плоских плівок додає ряд особливостей у багатьох властивостях пін.

На відміну від емульсій, які в ряді випадків стійкі протягом багатьох днів, піни за невеликим винятком (тверді піни) стійкі лише протягом декількох годин [12].

Значно менша стійкість пін, порівняно з емульсіями, обумовлена тим, що плівки пін, маючи мікронну товщину, легко піддаються зовнішнім впливам (випаровуванню та ін.). Лише в умовах герметизації в зарядній порожнині піни наближаються за стійкістю до висококонцентрованих емульсій, стабілізованих тими ж ПАР, в яких плівки неперервної фази захищені від випаровування та інших впливів рідиною дисперсної фази.

У нашому випадку, коли рідка фаза представлена суспензією селітри з водою, піносуспензія більш стійка, оскільки рідина дисперсної фази випаровується, а піна залишається у вигляді твердого каркаса частинок селітри, зцементованих ПАР.

Як видно із зазначених даних, густина вибухових композицій за рахунок аерації суміші регулюються від 150 до 800 кг/м³, критичний діаметр зарядів вибухових речовин у жорсткій оболонці становить (30–40)*10⁻³м. Заряди в жорсткій оболонці чутливі до детонатора ЕД-8.

Фізична стабільність аерованої системи в діапазоні температур від +30 до -10 °С у відкритій посудині становить 9–24 год, в закритій посудині – порядку 5–8 діб. При зниженні температури до -15 °С стабільність ВР різко падає за рахунок замерзання оболонок пінних комірок і руйнування піни.

Льодостійкість спінених ВР низька, оскільки піносуспензія розчиняє лід, обводнюється і втрачає стабільність.

Динамічні характеристики спінених вибухових композицій досліджувалися, порівняно з малоцільними ВР, на основі АС/СФ/ППС. При цьому вивчалася детонація відкритих зарядів діаметром $(50-90) \cdot 10^{-3}$ м. Бризантність зарядів вивчалася за ГОСТ 5984-80. У всіх випадках досліджувалися свіжоприготовлені спінени вибухові композиції, оскільки піносистеми змінюють свої характеристики в часі.

Динамічні характеристики спінених ВР наведені в таблиці 2. З наведених даних видно, що швидкість детонації відкритих зарядів ВР становить $(1,2-2,4) \cdot 10^3$ м/с, малоцільної сипучої ВР на основі АС/СФ/ППС - $(1,0-1,5) \cdot 10^3$ м/с. Відповідно бризантність спінених вибухових композицій дещо вища, порівняно з сипучою малоцільною ВР, - $(7 \dots 11) \cdot 10^{-3}$ м проти $(5 \dots 8) \cdot 10^{-3}$ м.

Таблиця 2

Динамічні характеристики спінених ВР

№ з/п	Найменування характеристики	Од. вим.	Найменування ВР				
			Суміш I	Суміш II	Суміш III	Суміш IV	Малоцільна ВР АС/СФ/ППС
1	Швидкість детонації: - відкритий заряд	10^3 м/с	1,0-2,4	1,0-2,5	-	-	1,0-1,5
	- заряд у жорсткій оболонці		1,1-3,2	1,1-3,0	1,9-2,1	2,0-2,2	1,4-2,1
2	Бризантність у сталевому кільці	10^{-3} м	7-11	7-11	7-9	7-8	5-8
3	Час зростання тиску в імпульсі	10^{-6} с	40-50	45-50	50-55	50-60	55-60
4	Тиск на фронті хвилі	10^9 Па	0,7-0,8	0,7-0,8	0,6-0,7	0,5-0,7	0,5-0,6
5	Швидкість зростання тиску	10^{14} Па/с	0,14-0,20	0,14-0,17	0,11-0,14	0,08-0,14	0,08-0,11

Тривалість наростання тиску в імпульсі до максимуму у досліджених вибухових композиціях близька і складає $(40-60) \cdot 10^{-6}$ с. Тиск на фронті хвилі у спінених ВР на $(0,1-0,2) \cdot 10^9$ Па вище, ніж у сипучих малоцільних ВР.

Швидкість наростання тиску в імпульсі у спінених ВР становить $(0,08-0,20) \cdot 10^{14}$ Па/с, у сипучих сумішей - $(0,08-0,11) \cdot 10^{14}$ Па/с.

Дослідження динамічних характеристик спінених ВР змінної щільності показує, що описані спінени вибухові композиції можуть ефективно використовуватися для рівномірного ущільнення просядних лесових ґрунтів на необхідну потужність та при розмінуванні мінних полів.

Висновки та перспективи подальших досліджень:

1. Запропоновано спосіб приготування водонаповненого спіненого вибухового композиту, який включає змішування ПАР з водою, введення аміачної селітри, перемішування суміші механічним шляхом, який полягає в тому, що з метою інтенсифікації процесу аерації великих об'ємів продукту і підвищення безпеки робіт механічне змішання розчину ПАР і селітри проводять в низькошвидкісному режимі без спінування суміші, далі суспензія подається під тиском до об'єкта проведення підривних робіт та дозовано аерується за рахунок ежектування повітрям потоку суміші з прямою видачею спіненого вибухового композиту на місце застосування.

2. Добрано компонентний склад малоцільних спінених вибухових композицій місцевого приготування на основі порошкоподібних і рідких ПАР.

3. Досліджено динамічні характеристики малоцільних спінених вибухових композицій (щільністю від 200 до 800 кг/м³). Встановлено, що мінімальна швидкість детонації цих ВР у відкритих зарядах становить $(1,0 \dots 1,4) \cdot 10^3$ м/с, а в зарядах в жорсткій оболонці - $(1,4 \dots 1,6) \cdot 10^3$ м/с, в той час, як у штатного амоніту № 6ЖВ - $(3,2 \dots 3,5) \cdot 10^3$ м/с.

4. Бризантність спінених вибухових композицій не перевищує $(10-11) \cdot 10^{-3}$ м, у ігданіту вона становить $(15 \dots 20) \cdot 10^{-3}$ м, а у амоніту № 6ЖВ - $(24 \dots 29) \cdot 10^{-3}$ м.

5. Час наростання тиску в імпульсі до максимуму у спінених вибухових композиціях досягає $(45 \dots 60) \cdot 10^{-6}$ с, відповідно у ігданіту $(30 \dots 40) \cdot 10^{-6}$ с та у амоніту № 6ЖВ - $(4 \dots 5) \cdot 10^{-6}$ с.

6. Тиск на фронті хвилі у спінених вибухових композиціях не перевищує $(0,6 \dots 0,9) \cdot 10^9$ Па, в той час, як у амоніту № 6ЖВ він досягає $(5,5 \dots 6,1) \cdot 10^9$ Па.

7. Швидкість наростання тиску в імпульсі у спінених вибухових композиціях становить $(0,08-0,20) \cdot 10^{14}$ Па/с, проти $(11-15) \cdot 10^{14}$ Па/с у амоніту № 6ЖВ.

8. Керування параметрами вибухового імпульсу шляхом використання ВР регульованої щільності забезпечує можливість рівномірного ущільнення просадних лесових ґрунтів на необхідну потужність та може бути використане при розмінуванні мінних полів.

Список використаної літератури:

1. Смагулова Л.К. Види і способи закріплення ґрунтів / Л.К. Смагулова // Молодой ученый. – 2017. – № 18. – С. 80–83 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://moluch.ru/archive/152/43141/>.
2. Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на замедленно-просадочных грунтах I и II типа по просадочности / А.Н. Богомолов, Ю.И. Олянский, Л.А. Анисимов и др. // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та / Строительство и архитектура. – 2015. – № 41 (60). – С. 14–23.
3. Маслов Н.Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков / Н.Н. Маслов. – М. : Госэнергоиздат, 1959.
4. Инженерная геология. Механика грунтов, основы и фундаменты : підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев та ін. – Полтава : ПНТУ, 2003. – 446 с.
5. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах / М.А. Кук. – М. : Недра, 1980. – 454 с.
6. Minaev O.P. Effective Blasting Method of Compacting Sand Foundation Beds for Various Structures / O.P. Minaev // Power Technology and Engineering. – 2018. – Vol. 51, Issue 5, P. 507–512.
7. Shakeran M. Geotechnical Aspects of Explosive Compaction / M.Shakeran, A.Eslami // Shock and Vibration. – 2016.
8. А. с. 572094 СССР. Способ уплотнения просадочных лесовых грунтов / СКТБ Института геофизики АН УССР/ А.А. Вовк, В.Г. Кравец, Л.И. Демецук и др. – МКИ Е02Д 3/10, 1976.
9. А. с. СССР № 1403565, кл. С06 В 31/28, 1985.
10. Кривцов Н.В. Технология производства малоплотных ВС / Н.В. Кривцов, С.А. Сторчак // Строительные материалы и конструкции. – К., 1994. – № 2. – С. 30–31.
11. Патент на корисну модель UA № 122425, МПК: E21C 37/00. Пристрій для приготування водонаповненої вспіненої вибухової композиції / В.В. Бойко, Ю.П. Приходько, В.К. Гончар, К.С. Золотухін, Ю.Ю. Орлов, В.І. Плужник, О.В. Ган. – 10.01.2018.
12. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение / А.А. Амбразон. – Ленинград : Химия, 1981. – 304 с.
13. Виймально-навантажувальні роботи на кар'єрах : навч. посібник / В.В. Коробійчук, В.Г. Кравець, С.С. Іськов та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2017. – 440 с.
14. Korobiichuk V. Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / V.Korobiichuk // International Conference on Systems, Control and Information Technologies. – America : Springer International Publishing, 2016. – P. 653–658.
15. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material / R.Sobolevskiy, N.Zuievskaya, V.Korobiichuk and other // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Issue 5/3 (83). – P. 21–29.
16. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / R.Sobolevskiy, V.Korobiichuk, S.Iskov and other // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6/3 (84). – P. 32–40.
17. Коробійчук В.В. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменя / В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник ЖДТУ : Технічні науки. – 2006. – № 4 (39). – С. 301–308.
18. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
19. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.
20. Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods / I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, P.Hájek and other // Archives of Mining Sciences. – 2018. – Т. 63. – № 1. – P. 75–82.
21. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / V.Korobiichuk, V.Kravets, R.Sobolevskiy and other // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – № 2/5 (92). – P. 20–25 [Electronic resource]. – Access mode : <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127847>.
22. Ефективність зарядів різних конструкцій при деформуванні та руйнуванні металевих перепон / Ю.І. Войтенко, В.Г. Кравець, А.Шукюров та ін. // Вісник ЖДТУ : Технічні науки. – 2018. – № 1 (81). – С. 223–231.
23. Коробійчук В.В. Руйнування гірських порід та безпека вибухових робіт : підручник / В.В. Коробійчук, В.О. Соколовський, С.С. Іськов. – Житомир : ЖДТУ, 2019. – 332 с.
24. Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми / В.Г. Кравець, А.Шукюров, П.А. Гонтар та ін. // Вісник ЖДТУ : Технічні науки. – 2018. – № 2 (82). – С. 247–252.

References:

1. Smagulova, L.K. (2017), «Vidy i sposoby zakrepleniya gruntov», *Molodoi uchenyi*, No. 18, pp. 80–83, [Online], available at: <https://moluch.ru/archive/152/43141/>
2. Bogomolov, A.N., Olyanskii, Yu.I., Anisimov, L.A. i dr. (2015), «Podgotovka osnovanii zdaniy i sooruzhenii, stroyashchikhsya na zamedlenno-prosadochnykh gruntakh I i II tipa po prosadchnosti», *Vestnik Volgograd. gos. arkh.-stroit. un-ta*, No. 41 (60), pp. 14–23.
3. Maslov, N.N. (1959), *Usloviya ustoychivosti vodonasyshchennykh peskov*, Gosjenerhoizdat, Moscow.

4. Zocenko, M.L., Kovalenko, V.I., Jakovljević, A.V. ta in (2003), *Inzhenerna geologija. Mehanika g'runtiv, osnovy i fundamenti*, pidruchnyk, PNTU, Poltava, 446 p.
5. Kuk, M.A. (1980), *Nauka o promyshlennykh vzryvchatykh veshchestvakh*, Nedra Publ., M., 454 p.
6. Minaev, O.P. (2018), «Effective Blasting Method of Compacting Sand Foundation Beds for Various Structures», *Power Technology and Engineering*, Vol. 51, Issue 5, pp. 507–512.
7. Shakeran, M. and Eslami, A. (2016), «Geotechnical Aspects of Explosive Compaction», *Shock and Vibration*.
8. Vovk, A.A., Kravets, V.H. and Demeshchuk, L.Y (1976), *Sposob uplotneniya prosadochnykh lessovykh gruntov*, A. s. 572094 (SSSR), SKTB Instituta heofiziki AN USSR. MKY E02D 3/10.
9. A. s. SSSR (1985), No. 1403565, kl. S06 V 31/28.
10. Krivtsov, N.V. and Storchak, S.A. (1994), «Tekhnologiya proizvodstva maloplotnykh VS», *Stroitel'nye materialy i konstruksii*, K., No. 2, pp. 30–31.
11. Bojko, V.V., Pryhod'ko, Ju.P., Gonchar, V.K., Zolotuhin, K.S., Orlov, Ju.Ju., Pluzhnyk, V.I. and Gan, O.V. (2018), *Prystrij dlja prygotuvannja vodonapovnenoi' vspinoi' vybuhoi' kompozycji'*, UA, Patent na korysnu model No. 122425, MPK: E21C 37/00.
12. Abramzon, A.A. (1981), *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva. Svoystva i primenenie*, Khimiya, Leningrad, 304 p.
13. Korobijchuk, V.V., Kravec', V.G., Is'kov, S.S. and other (2017), *Vyjmal'no-navantazhuval'ni roboty na kar'jerah*, navch. posibnik, ZhDTU, Zhytomyr, 440 p.
14. Korobiichuk, V. (2016), «Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures», *International Conference on Systems, Control and Information Technologies*, Springer International Publishing, America, pp. 653–658.
15. Sobolevskyi, R., Zuiavska, N., Korobiichuk, V. and other (2016), «Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Issue 5/3 (83), pp. 21–29.
16. Sobolevskyi, R., Korobiichuk, V., Iskov, S. and other (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.
17. Korobijchuk, V.V. Sobolev'skij, R.V. and Zubchenko, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizacii' vytrat pry burovybuhovomu sposobi vydobuvannja blokiv dekoratyvnogo kamenja», *Visnyk ZhDTU, Tehnichni nauky*, No. 4 (39), pp. 301–308.
18. Zakusilo, R.V., Kravec', V.G. and Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasoby inicijuvannja promyslovyh zarjadiv vybuhovyh rehovyn*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
19. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizychni procesy prykladnoi' geodynamiky vybuhu*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 408 p.
20. Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Hájek, P., Kokeš, P. and other (2018), «Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods», *Archives of Mining Sciences*, Vol. 63, No. 1, pp. 75–82.
21. Korobiichuk, V., Kravets, V., Sobolevskyi, R. and other (2018), «Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 2/5 (92), pp. 20–25, [Online], available at: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127847>
22. Vojtenko, Ju.I., Kravec', V.G., Shukjurov, A. and other (2018), «Efektyvnist' zarjadiv riznyh konstrukcij pry deformuvanni ta rujnuvanni metalevyh perepon», *Visnyk ZhDTU, Tehnichni nauky*, No. 1 (81), pp. 223–231.
23. Korobiichuk, V.V., Sokolovskiy, V.O. and Iskov, S.S. (2019), «Rujnuvannja girs'kyh porid ta bezpeka vybuhovyh robot», pidruchnyk, ZhDTU, Zhytomyr, 332 p.
24. Kravec', V.G., Shukjurov, A., Gontar, P.A. and other (2018), «Krajovi efekty vybuhu zarjadiv skladnoi' formy», *Visnyk ZhDTU, Tehnichni nauki*, No. 2 (82), pp. 247–252.

Бойко Віктор Вікторович – доктор технічних наук, професор Науково-дослідної лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів Інституту гідромеханіки Національної академії наук України.

Наукові інтереси:

– гірничя справа; промислова сейсmobезпека вибухів.

Ган Олена Валеріївна – аспірант Науково-дослідної лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів Інституту гідромеханіки Національної академії наук України.

Наукові інтереси:

– гірничя справа; геoінженерія; вибухова справа.

Кравець Віктор Георгійович – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси:

– відкрита розробка родовищ корисних копалин; геoінженерія; вибухова справа.

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

Наукові інтереси:

– вибухові роботи; гірничя справа; геoінженерія.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2019.