

## УЩІЛЬНЕННЯ ПРОСАДКОВИХ ҐРУНТІВ ВДОСКОНАЛЕНИМИ ЗАРЯДАМИ МАЛОЇ ЩІЛЬНОСТІ

© V. Boiko, A. Gan, O. Gan

## SURFACING SUNFLOWERS BY IMPROVED CHARGES OF SMALL DENSITY

**Метою** роботи є розробка засобів нових технологічних елементів ущільнення просадних ґрунтів на основі вдосконалених зарядів малої щільності.

**Методика дослідження** полягає у доборі компонентного складу малощільної спіненої вибухової речовини та експериментальних досліджень в полігонних умовах.

**Результати досліджень.** Розглянуто існуючі рецептури безтритилових вибухових речовин на основі аміачної селітри та запропоновано вдосконалені малощільні вибухові суміші для ущільнення просадкових ґрунтів. Визначено фізико-хімічні характеристики запропонованих нових вдосконалених вибухових речовин та встановлено їхній вплив на просадні властивості лесових ґрунтів. Досліджено ступінь ущільнення лесових ґрунтів вибуховим способом при застосуванні різних накладних зарядів на основі нових вдосконалених вибухових речовин.

**Наукова новизна.** Встановлено добір компонентного складу малощільної спіненої вибухової речовини місцевого приготування на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активної речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри. Отримано залежності ступеня ущільнення ґрунту під час вибуху накладних зарядів різних типів ВР у полімерному корпусі від питомих витрат ВР і встановлено, що найменші питомі витрати ( $1,97 \text{ кг/м}^3$ ) та максимальна ступінь ущільнення ( $(1,66-1,76) * 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) просадних лесових ґрунтів забезпечується при застосуванні запропонованої малощільної спіненої суміші АС/СФ/АП. Причому малощільні спінені заряди на основі АС/СФ/АП забезпечують ущільнення на більш значну глибину 1,5 – 3,0 м, що становить 27-30 потужностей заряду у порівнянні з ігданітом, що забезпечує ущільнення на глибину 1,25 – 2,0 м або 20 – 25 потужностей заряду.

**Практичне значення.** Результати досліджень дозволяють розробити технологічні способи керування параметрами вибухового імпульсу шляхом використання ВР регульованої щільності, що забезпечує можливість підвищення корисного використання енергії вибуху для дотримання необхідного ступеня ущільнення просадних лесових ґрунтів на визначену глибину. Вдосконалені рецептури компонентного складу малощільної спіненої вибухової речовини місцевого приготування на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активної речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри забезпечують вимоги щодо реалізації підвищення ефективності механічних методів ущільнення просадних лесових ґрунтів.

**Ключові слова:** лесові ґрунти; накладні заряди; аміачна селітра; вибухові речовини; ущільнення ґрунту; деформування ґрунту.

**Вступ.** В Інституті гідромеханіки НАН України в минулому сторіччі були розроблені рецептури безтритилових ВР на основі аміачної селітри (АС). Це малощільні (спінені) вибухові суміші щільністю  $0,3-0,8 \text{ г/см}^3$  на основі АС і розчину поверхнево-активної речовини (ПАР), які успішно були досліджені та

випробувані при відколі скельних порід на ряді кар'єрів України та інших країн СНД.

У зв'язку з цим в роботах [3, 6, 7] проводилися дослідження впливу на водостійкість гігроскопічної АС різних поверхнево-активних речовин (ПАР), а саме: гомологічних рядів алкілсульфатів, алкілсульфанатів, алкілфталатів натрію і ліотропних рядів катіонів. Встановлено, що підбираючи компоненти різної хімічної будови, змінюючи їх співвідношення і концентрацію, і відповідно олеофільний-гідрофільний баланс системи, можна регулювати властивостями адсорбційних шарів, що утворені ПАР на міжфазних границях і таким чином отримувати гідрофобізатори, які забезпечують більш високу стійкість вибухових сумішей (ВС) на основі АС. Не спінена суміш АС/ПАР не є ВР тому що не чутлива до удару, тертя і ініціюючого імпульсу. Тільки при спіненні така система набуває властивостей ВР і стає чутливою до ініціюючого імпульсу від ДШ, капсуля-детонатора та ін. засобів підривання.

**Стан питання.** Лесові ґрунти займають площу 13 млн. км<sup>2</sup>, що складає 9,3% всієї суші. На території СНГ лесові ґрунти займають площу 3,3 млн. км<sup>2</sup> – це біля 15% поверхні країни. В Україні лесові ґрунти займають 65% всієї території, більшість якої відведена під забудову. Головною особливістю лесових ґрунтів є висока ступінь їх просідання (до 40%) при зволоженні.

На даний час існуючими методами і способами усунення просідних властивостей ґрунтів здійснюється:

– у межах верхньої зони просадки або її частини – важкими трамбівками, влаштуванням ґрунтових подушок, втрамбовуванням котлованів, хімічним або термічним закріпленням;

– у межах всієї просідної товщі – глибинним ущільненням ґрунтовими палями; попереднім замочуванням ґрунтів основи, у тому числі глибинними вибухами, хімічним або термічним закріпленням.

Основними недоліками вище наведених способів є нерівномірне ущільнення товщі лесових ґрунтів по всій площі, трудомісткість, тривалість, необхідність застосування спеціального обладнання та значна вартість, в той час як існують малошцільні ВР, розроблені в Інституті гідромеханіки НАН України, що досі не застосовувались у даній сфері. Одночасно ці малошцільні ВР потребують удосконалення їх рецептур, підвищення чутливості до ініціювання, розробки способу приготування та пристрою для рівномірного покриття необхідної площі просідних ґрунтів під забудову. Ущільнення ґрунту таким способом можливо шляхом покриття шаром піносуспензії і підривом вибухового композиту первинною ініціюючою речовиною.

Виходячи із вище зазначеного удосконалення існуючих рецептур і підсилення детонаційної чутливості ультразвуковим полем малошцільних ВР, та розробка на їх основі комбінованого способу ущільнення просадкових ґрунтів є актуальною науково-практичною задачею.

**Метою проведення досліджень** є розробка засобів нових технологічних елементів ущільнення просадних ґрунтів на основі вдосконалених зарядів малої щільності.

**Ціль та завдання** є подальше розширення сфери застосування безтритилових ВР на основі аміачної селітри а також удосконалення та наукове обґрунтування їх рецептур.

**Викладення матеріалу дослідження.** Тому авторами були проведені дослідження, щодо створення нового класу вибухових спінених систем високої кратності і високої стійкості, здатних при температурі від  $+35^{\circ}$ , до  $-35^{\circ}$  С заповнювати великі об'єми і покривати великі поверхні та придатних для ущільнення слабких просадних ґрунтів, необхідні подальші дослідження основних властивостей пін: піноутворююча здатність, повторюваність, стабільність, щільність і дисперсність пін, електропровідність, структурно-механічні властивості пін, оптичні властивості рідких плівок і пін та ультразвукові впливи. Ці властивості залежать від будови моно - і поліфункціональних груп і ступеня розвитку вуглеводневих радикалів в молекулах ПАР різних класів - аніоноактивних, катіоноактивних, амфолітних. Поряд з цим необхідно досліджувати вибухові властивості отриманих ВС - детонаційну здатність, критичний діаметр і працездатність методом ущільнення просадкових ґрунтів (вимір площі просадки, глибини ущільнення, показника просадки після вибуху ВС, швидкості детонації та ін.). Тобто дослідити розроблені рецептури вибухових спінених систем (безтритилових ВР на основі аміачної селітри) щодо спроможності їх забезпечити необхідне ущільнення просадкових ґрунтів.

Також, розроблені ВС малої щільності з введенням в них ПАР - піноутворювачів з різною їх піноутворюючою здатністю повинні забезпечити керування вибуховими властивостями (ВВ) в межах, необхідних для потрібного ступеня ущільнення просадкових ґрунтів [5].

При доборі найбільш ефективних паливних добавок слід керуватися доступністю сировини, теплоутворюючою здатністю і щільністю речовин, а також каталітичними і сенсibiliзуючими властивостями [1,2,3].

Розроблені рецептури безтритилових ВР на основі аміачної селітри (АС) і розчину поверхнево-активної речовини (ПАР), повинні працювати в детонаційному режимі та мати властивості ВР і бути чутливими до ініціюючого імпульсу від ДШ, капсуля-детонатора та ін. Для перевірки цієї суміші щодо спроможності забезпечення ущільнення просадкових ґрунтів, авторами було проведено розрахунок об'єму та тиску безтритилових ВР в режимі детонації основних компонентів суміші. Питомий об'єм газів, який буде утворюватися при детонації 1кг суміші (нітрат амонію ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) та поверхнево-активної розчину), приведений до нормальних умов (температура  $0^{\circ}\text{C}$ , тиск 133,3 Па), можна отримати за формулою:

$$V = \frac{22,4 \cdot (n_1 + n_2 + \dots n_n) \cdot 1000}{NM} \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (1)$$

де  $n_1+n_2 + \dots n_n$  – число газоутворених грам-молекул у продуктах горіння;  $N$  – число грам-молекул продукту, який бере участь в реакції;  $M$  – молекулярна маса продукту горіння.

Найбільш широко у промисловості та гірничій справі застосовуються суміші аміачної селітри з різними видами вуглеводневих горючих матеріалів, інших вибухових речовин, а також багатокомпонентні суміші, а саме: склади типу аміачна селітра/дизельне паливо (АС/ДТ); рідка суміш аміачна селітра/гідразін; водонаповненні промислові вибухові речовини (акванал, акваніт та інші); суміші з іншими вибуховими речовинами (амоніт, детоніт та інші); суміш з алюмінієвою пудрою (амонал).

Залежно від призначення аміачну селітру випускають двох марок: А та Б. А - для промисловості, Б - для сільського господарства. Допускається застосування селітри марки Б для промисловості. Для зменшення гігроскопічності та злежуваності у марку Б вводять різні кондиціонуючі добавки (доломітну, сульфатну або магнієву).

Хімічна формула аміачної селітри:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , щільність  $1,725 \text{ г/см}^3$ , температура плавлення -  $169,6^\circ \text{ C}$ , температура кипіння -  $235^\circ \text{ C}$ , температура розкладання -  $210^\circ \text{ C}$ .

За реакцією хімічного розкладу нітрату амонію

$4\text{NH}_4\text{NO}_3 = 4\text{N}_2 + 8\text{H}_2\text{O} + 4\text{NO}$  знаходимо

$$V = \frac{22.4(112 + 154 + 60) \cdot 1000}{320} = 228,29 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Тиск газів суміші в полімерному циліндричному корпусі, запаяний з обох боків, в режимі детонації визначається за формулою:

$$P = \frac{98P_0VT_k\Delta}{273(1 - 0,001V\Delta)} \text{ кПа}, \quad (2)$$

де:  $P_0$  – атмосферний тиск газів при горінні приймається  $1,03 \text{ кгс/см}^2$ ;

$V$  – питомий об'єм газів, л/кг;  $T_k$  – абсолютна температура газів горіння в градусах Кельвіна;  $\Delta$  - щільність суміші,  $\text{кг/дм}^3$ .

$$P = \frac{98 \times 1,03 \times 228,29 \times 273 \times 1,725}{273(1 - 0,001 \times 228,29 \times 1,725)} = 64113,23 \text{ кПа}.$$

Визначимо відсоток дизельного пального в аміачній селітрі для одержання суміші з нульовим кисневим балансом.

Знаходимо значення кисневого балансу (КБ), який для аміачної селітри позитивний і становить  $KB_1 = +20 \%$ , для дизельного пального – негативний і становить  $KB_2 = -318 \%$ .

Кількість вагових частин аміачної селітри, яка потрібна для повного окислювання однієї частини дизельного пального визначається за формулою:

$$M = (-KB_2) / (+KB_1) = (-318) / (+20) = -15,9 \quad (3)$$

Таким чином, одна вагова частина дизельного пального потребує 15,9 частин аміачної селітри.

Вміст компонентів у складі суміші визначається за формулою:

$$P_1 = \frac{KB_2}{KB_1 - KB_2} \quad P_2 = \frac{KB_1}{KB_1 - KB_2}, \text{ або } P_2 = 1 - P_1 \quad (4)$$

Значення КБ першого та другого компонентів підставляються у формулу (4) з відповідними знаками (плюс або мінус).

Для ігданіту, який складається із аміачної селітри та дизельного пального, використовуючи формулу (4), отримаємо:

$$P_2 = \frac{+20\%}{+20\% - (-318\%)} = \frac{20\%}{338\%} = 0,06; \quad P_1 = 1 - P_2 = 0,94$$

Таким чином, КБ такої суміші буде нульовим за умов, що в ній буде 94% аміачної селітри та 6% дизельного пального.

Компонентний склад малощільної ВР наведений у табл. 1. Для порівняння показані характеристики стандартного ігданіту АС/ДТ.

Таблиця 1.

Компонентний склад малощільних ВР

№ п/п	Компоненти ВР	Склад компонентів, вага %	
		Ігданіт АС/ДТ	Малощільна ВР АС/СФ/АП
1	Аміачна селітра	94,0	90
2	Дизельне паливо	6,0	–
3	Сульфонал	–	6
4	Алюмінієва пудра	–	4

Кисневий баланс вибухових сумішей, що складаються з кількох речовин, визначається за формулою:

$$KB_{\Sigma} = KB_1 \cdot P_1 + KB_2 \cdot P_2 + \dots + KB_i \cdot P_i, \quad (5)$$

де  $KB_i$  - кисневий баланс кожного компонента вибухової суміші, %;  $P_i$  - вміст відповідного компонента в суміші в частках одиниці.

Малощільної ВР на основі АС/СФ/АП складається з аміачної селітри з кисневим балансом  $KB_1 = +20$  %, сульфоналу ( $C_{16-19}H_{29-35}SO_3Na$ ) з кисневим балансом  $KB_2 = -230$  % та алюмінієвої пудри ( $Al$ ) з кисневим балансом  $KB_3 = -89$  %. Підставляючи дані у формулу (5), отримаємо КБ для даної рецептури:

$$KB_{\Sigma} = (+20\%) \cdot 0,90 + (-230\%) \cdot 0,06 + (-89\%) \cdot 0,04 = 0,6$$

Із застосуванням вищенаведеної рецептури (з практично нульовим кисневим балансом) безтротилової ВР на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активної речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри був розроблений метод ущільнення просядкових ґрунтів. Для удосконалення та наукового обґрунтування технологічних параметрів метода авторами був досліджений накладний заряд, який являє собою полімерний корпус прямокутної форми (товщиною 50, 75 і 100 мм.) запаяний з усіх боків, що забезпечує герметизацію внутрішньої порожнини корпусу. Всередині розміщена спінена суміш АС/СФ/АП (з нітрату амонію ( $NH_4NO_3$ ), поверхнево-активної речовини і алюмінієвої пудри) та ініціюючого імпульсу у вигляді петлі з ДШ по фомі корпусу і капсуля-детонатора,

котрий остаточно приєднується на місцях виконання робіт безпосередньо перед використанням.

В польових умовах були проведені дослідження з визначення роботи таких накладних зарядів на основі малощільної ВР на спроможність її забезпечити ущільнення лесових ґрунтів (табл. 2).

Результати досліджень показали, що застосування енергії вибуху накладних зарядів дозволяє повністю або частково усунути просадні властивості лесових ґрунтів на всю глибину просідання товщі. При цьому прикладання зовнішнього навантаження до ґрунтового масиву створює об'ємну деформацію середовища та ущільнення ґрунту, головним чином, за рахунок зменшення порового простору з пружною деформацією зерен скелету, їх взаємним переміщенням, деформацією і руйнуванням скелетних зв'язків.

Дослідження характеру деформування ґрунту під час вибуху накладних зарядів на спроможність їх забезпечити ущільнення лесових ґрунтів показали, що в залежності від товщини шару спіненої суміші і форми полімерного корпусу, в ґрунті існує зона ущільнення, що характеризується підвищеною щільністю ґрунту, яка простягається по всій площі (формі полімерного корпусу) на глибину до 50 товщин шару спіненої суміші в суглинках і 20-30 в лесових ґрунтах.

При дослідженні в натуральних умовах малощільної спіненої вибухової суміші АС/СФ/АП для порівняння застосовувалися стандартні ВР, а саме: амоніт №6ЖВ і ігданіт АС/ДТ. Зосереджені заряди досліджуваних ВР масою 14-16 кг розміщувались в ґрунті на оптимальній глибині закладення, що становила 1,7-1,8 м.

Після підривання ВР вимірювалися параметри воронки, величина зони ущільнення і щільність ґрунту до і після вибуху. Результати експериментів наведені в табл. 2.

Таблиця 2.

Отримані результати впливу дії вибуху сумішевих ВР на просадні властивості лесових ґрунтів

№ п/п	Найменування характеристики	Од. вим.	Найменування ВР		
			Амоніт №6ЖВ	Ігданіт АС/ДТ	Малощільна ВР АС/СФ/АП
1	Глибина закладання ВР	м	1,8	1,7	1,7
2	Маса заряду	кг	14	16	16
3	Діаметр воронки	м	4,5	4,6	4,9
4	Глибина воронки	м	1,2	1,2	1,30
5	Об'єм воронки	м <sup>3</sup>	6,3	6,6	8,1
6	Питомі витрати ВР	кг/м <sup>3</sup>	2,22	2,40	1,97
7	Щільність ґрунту:	10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	1,35-1,40	1,35-1,40	1,35-1,40
	- до ущільнення				
	- після ущільнення		1,57-1,65	1,55-1,66	1,66-1,76

Вивчення ущільненої зони від дії зарядів, які застосовуються у вибухових технологіях з усунення просадних властивостей лесових ґрунтів, показало, що глибина цієї зони досягає 100 радіусів заряду, причому застосування малощільних ВР дає значний ефект.

Як видно з наведених даних, найбільший об'єм воронки забезпечує малощільна спінена ВР, при цьому питома витрата амоніту № 6ЖВ становить  $2,22 \text{ кг/м}^3$ , ігданіту –  $2,40 \text{ кг/м}^3$ , малощільної спіненої суміші АС/СФ/АП –  $1,97 \text{ кг/м}^3$ . Максимальна щільність ущільненого ґрунту при використанні амоніту досягає  $(1,57 - 1,65) * 10^3 \text{ кг/м}^3$ , ігданіту –  $(1,55 - 1,66) * 10^3 \text{ кг/м}^3$ , малощільної ВР –  $(1,66 - 1,76) * 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

При ущільненні просадних лесових ґрунтів необхідно забезпечити рівномірність осідання ґрунту по всій площі масиву. Відомо, що властивості лесових ґрунтів в більшій мірі залежить від їх вологості. У водонасиченому стані вони легко деформуються під дією зовнішніх навантажень.

Відомий спосіб ущільнення таких ґрунтів, оснований на утворенні похилих бойових свердловин, зорієнтованих осями всередину ущільнюючого масиву [4]. Вибух зарядів призводить до просідання ґрунту під власною вагою.

Недоліками цього способу є значні енергозатрати на буріння свердловин, визначення необхідного кута нахилу та трудомісткість при його дотриманні.

Пропонується спосіб ущільнення ґрунтів, оснований на виготовленні накладних зарядів зі спіненої суміш АС/СФ/АП (з нітрату амонію ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), поверхнево-активної речовини та алюмінієвої пудри, табл.1), розміщених в попередньо розроблених та зволжених траншеях по всій площі ущільнення та зустрічним їх ініціюванням. У траншеях розташовують суцільні заряди ВР. Лінійна маса заряду обирається в залежності від потужності просадної товщі ґрунтів і становить 10-15 кг/м спіненої суміші.

Після зарядки траншей виконують забивку її ґрунтами і підривають. В результаті чого оточуючий ґрунтовий масив рівномірно ущільнюється.

У табл. 3 наведені дані ефективного ущільнення лесових ґрунтів вище описаним способом різної потужності (товщини) накладного заряду із застосуванням різних типів ВР (ігданіту та малощільної спіненої суміші АС/СФ/АП).

Як видно з таблиці низькошвидкісні та малощільні ВР забезпечують ущільнення просадних лесових ґрунтів на визначену глибину масиву. Причому малощільні спінені заряди на основі АС/СФ/АП забезпечують ущільнення на більш значну глибину 1,5 – 3,0 м, що становить 27-30 потужностей заряду у порівнянні з ігданітом, що забезпечує ущільнення на глибину 1,25 – 2,0 м або 20 – 25 потужностей заряду.

Це можна пояснити перерозподілом енергії у вибуховому імпульсі за рахунок зниження пікового тиску і збільшення загальної тривалості фази стиснення. Останнє дозволяє зменшити втрати енергії в ближній зоні вибуху на непотрібне переущільнення ґрунту та збільшити тривалість дії самого ущільнення, що безпосередньо впливає на її глибину.

Найбільша ступінь ущільнення досягається при застосуванні зарядів на основі АС/СФ/АП і становить  $(1,70 - 1,75) * 10^3 \text{ кг/м}^3$ . При цьому щільність проса-

дних лесових ґрунтів збільшується від 7% -16% на глибині 1,5м до 26%-29% на глибині 0,25м.

Заряди ігданіту забезпечують менший, хоча і достатній для практичних цілей, ефект ущільнення - максимальна щільність ґрунту при цьому становить  $(1,63-1,68) * 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. При цьому щільність просадних лесових ґрунтів збільшується від 9% -20% на глибині 1,25м до 20%-24% на глибині 0,25м.

Таблиця 3

Отримані результати ущільнення лесових ґрунтів вибуховим способом при застосуванні різних накладних зарядів.

№ п/п	Глибина Н, м	Початкова щільність ґрунту, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	Щільність ущільненого ґрунту при різній товщині накладних зарядів, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>					
			Ігданіт АС/ДТ			Малощільна ВР АС/СФ/АП		
			50 мм	75 мм	100 мм	50 мм	75 мм	100 мм
1	0,25	1,35-1,37	1,63	1,66	1,68	1,70	1,72	1,75
2	0,50	1,36-1,38	1,62	1,64	1,65	1,67	1,69	1,71
3	0,75	1,34-1,36	1,58	1,60	1,62	1,63	1,65	1,68
4	1,00	1,40-1,42	1,60	1,63	1,65	1,60	1,61	1,66
5	1,25	1,30-1,32	1,42	1,53	1,57	1,57	1,58	1,60
6	1,50	1,41-1,43	не змінна	1,51	1,63	1,51	1,63	1,64
7	2,00	1,50-1,52	не змінна	не змінна	1,61	не змінна	1,58	1,61
8	2,50	1,35-1,37	не змінна	не змінна	не змінна	не змінна	не змінна	1,50
9	3,00	1,44-1,46	не змінна	не змінна	не змінна	не змінна	не змінна	1,49

**Висновки.** Встановлено добір компонентного складу малощільної спіненої вибухової речовини місцевого приготування на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активної речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри.

Досліджено характер деформування ґрунту під час вибуху накладних зарядів різних типів ВР у полімерному корпусі і встановлено, що найменші питомі витрати (1,97 кг/м<sup>3</sup>) та максимальна ступінь ущільнення  $((1,66-1,76) * 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) просадних лесових ґрунтів забезпечується при застосуванні запропонованої малощільної спіненої суміші АС/СФ/АП.

Аналіз досліджень ущільнення лесових ґрунтів вибуховим способом при застосуванні різних типів накладних зарядів ВР показав, що малощільні спінені заряди на основі АС/СФ/АП забезпечують ущільнення на більш значну глибину 1,5 – 3,0 м, що становить 27-30 потужностей заряду у порівнянні з ігданітом,



що забезпечує ущільнення на глибину 1,25 – 2,0 м або 20 – 25 потужностей заряду.

Розроблений метод ущільнення просадкових ґрунтів накладними зарядами за рахунок нових вдосконалених рецептур безтритилових ВР на основі аміачної селітри потребує відповідної механізації щодо приготування водонаповнених спінених вибухових композитів та заповнення під тиском цією суспензією необхідну площу ущільнення. Наприклад ежекторний прямоточний метод може виробляти значні об'єми спіненого вибухового композиту.

#### Перелік посилань

1. Глазкова А. П. (1971). Положительный и отрицательный катализ при горении аммиачной селитры и ВР на ее основе и связь его с антигризутностью. *Физика горения и взрыва*, (7) (4)), 528-535.
2. Глазкова А.П. (1976). *Катализ горения взрывчатых веществ*. Киев: Наука.
3. Мельникова С.А. (1968). О влиянии поверхностно-активных веществ на физико-химические и взрывчатые свойства игданитов. *Взрывное дело*. Киев: Наука. (65/22), 30-35.
4. Вовк А.А., Кравец В.Г., Демешук Л.И., & Плужник В.И. (1990). *Способ уплотнения просадочных лессовых грунтов*. Патент № 4807541. СССР.
5. Афонин Г.С., Гейман Л.М., & Комар В.М. (1982). *Справочное руководство по взрывным работам в строительстве*. Киев: Будівельник, 176 с.
6. Абрамчук А.А. (1981). *Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение*. Ленинград: Химия, 304 с.
7. Тихомиров В.К. (1983). *Пены. Теория и практика их получения и разрушения*. Москва: Химия, 265 с.

#### АННОТАЦИЯ

**Целью** работы является разработка средств новых технологических элементов уплотнения просадочных грунтов на основе усовершенствованных зарядов малой плотности.

**Методика исследования** заключается в подборе компонентного состава малоплотного вспененного взрывчатого вещества и экспериментальных исследований в полигонных условиях.

**Результаты исследований.** Рассмотрены существующие рецептуры безтритиловых взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры и предложены усовершенствованные малоплотные взрывчатые смеси для уплотнения просадочных грунтов. Определены физико-химические характеристики предложенных новых усовершенствованных взрывчатых веществ и установлено их влияние на просадочные свойства лессовых грунтов. Исследована степень уплотнения лессовых грунтов взрывным способом при применении различных накладных зарядов на основе новых усовершенствованных взрывчатых веществ.

**Научная новизна.** Установлено подбор компонентного состава малоплотного вспененного взрывчатого вещества местного приготовления на основе аммиачной селитры (АС), раствора поверхностно-активного вещества (ПАВ) и алюминиевой пудры. Получены зависимости степени уплотнения грунта при взрыве накладных зарядов различных типов ВР в полимерном корпусе от удельных расходов ВР и установлено, что наименьшие удельные затраты (1,97 кг / м<sup>3</sup>) и максимальная степень уплотнения ((1,66-1,76) \* 10<sup>3</sup> кг / м<sup>3</sup>) просадочных лессовых грунтов обеспечивается при применении предложенной малоплотной вспененной смеси АС / СФ / АП. Причем малоплотные вспененные заряды на основе АС / СФ / АП обеспе-

чивают уплотнение на более значительную глубину 1,5 - 3,0 м, что составляет 27-30 мощностей заряда по сравнению с игданитом, что обеспечивает уплотнение на глубину 1,25 - 2,0 м или 20 - 25 мощностей заряда.

**Практическое значение.** Результаты исследований позволяют разработать технологические способы управления параметрами взрывного импульса путем использования ВР регулируемой плотности, обеспечивает возможность повышения полезного использования энергии взрыва для соблюдения необходимой степени уплотнения просадочных лессовых грунтов на определенную глубину. Усовершенствованные рецептуры компонентного состава малоплотного вспененного взрывчатого вещества местного приготовления на основе аммиачной селитры (АС), раствора поверхностно-активного вещества (ПАВ) и алюминиевой пудры удовлетворяют требованиям по реализации повышения эффективности механических методов уплотнения просадочных лессовых грунтов.

**Ключевые слова:** лессовые грунты; накладные заряды; аммиачная селитра; взрывчатые вещества; уплотнение грунта; деформации грунта.

### ABSTRACT

**Purpose.** The development of means for new technological elements of compaction of subsidence soils on the basis of improved low-density charges.

**The methodology** of research consists in the selection of the component composition of the small-sized foamed explosive and experimental research in the landfill conditions.

**Findings.** The article examine existing formulations of ammonia-free ammonium nitrate explosives and it is proposed advanced low-density explosive mixtures for compacting subsidence soils. It is defined the physicochemical characteristics of the proposed new improved explosives and their effect on the subsidence properties of loess soils. It is investigated the degree of compaction of loess soils by the explosive method with the use of various overhead charges based on new improved explosives.

**The originality.** The choice of component composition of low-density foamed explosive of local preparation on the basis of ammonium nitrate (AN), a solution of surfactant (surfactant) and aluminum powder was established. Dependences of the degree of soil consolidation during the explosion of charge charges of different types of BP in the polymer case from the specific costs of explosives were found, and the lowest specific costs ( $1.97 \text{ kg} / \text{m}^3$ ) and the maximum degree of consolidation ( $(1.66-1.76) * 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$ ) of forage forest soils is provided with the application of the proposed low-density foamed AS / SF / AP mixture. Moreover, small-sized spin-off charges on the basis of AC / SF / AP provide sealing at a more significant depth of 1.5 - 3.0 m, which is 27-30 charge capacities in comparison with ANFO, which provides a seal at a depth of 1.25 - 2.0 m or 20-25 charge capacities.

**Practical implications.** The results of the research allow to develop technological methods of controlling the parameters of the explosive pulse by using the BP of regulated density, which provides an opportunity to increase the useful use of explosive energy to maintain the required degree of compaction of the forested soils to a certain depth. Improved formulations of the component composition of low-density foamed explosive of local preparation on the basis of ammonium nitrate (AN), a solution of surfactant and aluminum powder provide requirements for the implementation of increasing the effectiveness of mechanical methods of compaction of forestry soils.

**Key words:** loess soils; overhead charges; ammonium nitrate; explosives; soil compaction; deformation of soil.