МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ГАН ОЛЕНА ВАЛЕРІЇВНА

УДК 624.138 + 622.235

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАРЯДІВ СПІНЕНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ СТРУКТУРНО-НЕСТІЙКОГО МАСИВУ

Спеціальність 05.15.09 – Геотехнічна і гірнича механіка

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в науково-дослідній лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів Інституту гідромеханіки Національної академії наук України і на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:	доктор технічних наук, професор **БОЙКО Віктор Вікторович,** Інститут гідромеханіки НАН України, завідувач науково-дослідної лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів
Офіційні опоненти:	доктор технічних наук, **ВОЙТЕНКО Юрій Іванович**, Український державний геологорозвідувальний інститут Міністерства екології та природних ресурсів України, головний науковий співробітник відділу інноваційних технологій
	кандидат технічних наук, доцент, **ЗАКУСИЛО Роман Васильович**, Шосткинський інститут Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України, заступник директора з наукової роботи

Захист відбудеться “25” березня 2021 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 у Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” за адресою: 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03057, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37

Автореферат розісланий “19” лютого 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент В.В. Вапнічна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні лесові ґрунти займають 65 % всієї території, значна частина якої відведена під забудову. Головною особливістю структурно-нестійких ґрунтів є високий ступінь їх просідання (до 40 %) при зволоженні.

Існуючі методи і способи усунення просідних властивостей структурно-нестійких ґрунтів здійснюються:

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

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

Серед недоліків більшості наведених способів є працемісткість, тривалість виконання операцій, необхідність застосування матеріалів і спеціального обладнання, значна вартість. Останнє стосується найбільш продуктивних вибухових методів ущільнення через їх залежність від вартості традиційних промислових вибухових речовин з відповідними детонаційними характеристиками та з необхідністю дотримання умов безпеки цих робіт.

Застосування інтенсивних вибухових методів ущільнення ґрунтових масивів сприяло розвиткові наукових аспектів динаміки ґрунтів, яка розглядає першочергово механізм формування полів напружень і деформацій в масиві в залежності від режиму його динамічного навантаження. Згідно з основними засадами динаміки ґрунтових масивів ефективний імпульсний режим ущільнення структурно слабкого ґрунту полягає в зниженні максимуму пікового навантаження з одночасним збільшенням тривалості дії імпульсу. Штатні вибухові речовини (ВР) з достатньо високими детонаційними параметрами за окремими виключеннями не задовольняють цій умові, що послугувало приводом досліджень, спрямованих на застосування спінених малощільних, низькодетонаційних ВР для вирішення задач геодинаміки ґрунтових масивів.

Існує низка рецептур малощільних ВР на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активної речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри, розроблених в Інституті гідромеханіки НАН України, які досі не застосовувались у даній сфері. Одночасно ці малощільні ВР потребують удосконалення рецептур, підвищення чутливості до ініціювання, розробки способу приготування та пристрою для рівномірного покриття необхідної площі просадних ґрунтів під забудову, оскільки питання вдосконалення рецептур безтротилових вибухових речовин - малощільних спінених вибухових сумішей необхідно вирішувати в комплексі з механізацією їх виготовлення.

Ущільнення масивів структурно-нестійких ґрунтів таким способом можливе шляхом покриття поверхні шаром пінистої вибухової суспензії з підриванням вибухового композиту існуючими засобами ініціювання. Виходячи із вище зазначеного, удосконалення існуючих рецептур малощільних ВР і підсилення їх детонаційної чутливості з попередньою обробкою компонентів фізичними полями

та розробка нових технологій при ущільненні структурно-нестійких ґрунтів є **актуальною науковою задачею**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Результати дослідження у дисертаційної роботі пов'язані з науково-дослідними темами Інституту гідромеханіки НАН України: «Дослідження процесів багатостадійного формування й розвитку в часі та просторі вибухових сейсмічних імпульсів з використанням короткоуповільненого підривання в гірництві» (2015-2018 р. р.) № ДР 0115U002104. «Дослідження по створенню вибухових технологій зі збереженням, поліпшенням та відновленням безпеки навколишнього середовища» (2019-2022 р. р.) № ДР 0115U002104. Результати компресійних досліджень ґрунтів виконувалась на кафедрі геоінженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до НДР: «Наукові основи ресурсозберігаючих технологій гірництва та геотехнічного будівництва» № ДР 0115U005398.

Виконана автором дисертаційна робота є складовою частиною досліджень відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення фізичних характеристик спінених вибухових композицій для розробки нових технологій стабілізації структурно- нестійких ґрунтів.

Для досягнення мети в роботі поставлено такі задачі:

– на основі існуючих рецептур безтротилових вибухових речовин вдосконалити малощільні спінені вибухові композиції з визначеними вибуховими параметрами для ущільнення структурно-нестійких ґрунтів;

– вивчити вплив ультразвукового випромінювання на структуру і фізико-механічні характеристики аміачної селітри та на детонаційні характеристики спінених вибухових композицій;

– дослідити закономірності формування параметрів вибухового імпульсу різних типів малощільних ВР та їх вплив на розвиток деформаційних процесів у ґрунтовому масиві;

– встановити вплив нових вдосконалених малощільних спінених вибухових композицій на просадні властивості ґрунтів та розробити пристрій і спосіб їх приготування з можливістю формування подовжених свердловинних та площинних поверхневих зарядів для ущільнення структурно-нестійкого масиву.

Об'єктом досліджень є процеси і технології ущільнення ґрунтів вибухом зарядів ВР з керованими детонаційними характеристиками.

Предмет досліджень – закономірності і способи формування параметрів вибухового імпульсу зарядів малощільних спінених вибухових композицій в технологіях ущільнення структурно-нестійких ґрунтів.

Методи дослідження. При виконанні роботи застосовано наступний комплекс сучасних наукових методів досліджень: мікроскопічні дослідження виконувались за допомогою мікроскопу Ломо Метам Р-1, оснащеного CCD відеокамерою DigitalКОСОМ; утримуюча здатність АС визначалась за допомогою статичного методу на основі дії сил тяжіння; дослідження ультразвукового

випромінювання виконувались за допомогою ультразвукового генератора УЗГ5-1,6/22, основаного на акустичній кавітації; щільність ґрунту визначалась за допомогою методу «ріжучого кільця»; деформаційні характеристики лесових ґрунтів визначались за допомогою компресійних випробувань методом «двох кривих» та математичного моделювання із застосуванням моделі, на основі механіки суцільного середовища; експериментальні дослідження на модельних матеріалах та у полігонних умовах.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в дисертаційній роботі вперше:

– на основі розрахунків термодинамічних параметрів запропоновано вдосконалені рецептури компонентного складу малощільної спіненої вибухової композиції місцевого приготування на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активної речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри для підвищення ефективності механічних методів ущільнення структурно-нестійких ґрунтів;

– отримано кількісну залежність відкритої пористості та утримуючої здатності різних типів АС від інтенсивності впливу ультразвукового випромінювання і встановлено, що при обробці ультразвуковим випромінюванням протягом 4 хвилин максимальна утримуюча здатність дизельного палива в пористій селітрі зростає з 4,416 % до 6,424 % або в 1,45 рази. Вплив ультразвукового поля на АС дозволяє підсилити на 10 % детонаційну чутливість компоненту в цілому;

– теоретично отримано залежність максимального тиску на фронті детонаційної хвилі для різних типів ВР від тривалості вибухового імпульсу, яка свідчить про те, що найменший піковий тиск при найдовшій тривалості вибухового імпульсу спостерігається для зарядів на основі спінених ВР, як звичайних, так і оброблених ультразвуковим випромінюванням. Максимальний тиск спіненої ВР на 33 % менший порівняно з амонітом №6 ЖВ і на 20 % за ігданіт. При обробці АС ультразвуковим випромінюванням максимальний тиск ВР на 49 % менший порівняно з амонітом №6 ЖВ і на 40 % - порівняно з ігданітом. Тривалість вибухового імпульсу для спіненої ВР в 3,5 рази більша за амоніт №6 ЖВ і ігданіт, а для спіненої ВР, обробленої ультразвуковим випромінюванням, дещо більша ніж в 3 рази. Час зростання тиску у вибуховому імпульсі зарядів на основі спінених ВР, як звичайних, так і оброблених ультразвуковим випромінюванням в 2,3 рази більший, ніж для амоніту №6 ЖВ і в 2,47 рази більший порівняно з ігданітом;

– експериментально підтверджено зростання на 20 – 35 % (що становить 5–7 потужностей шару плоского пінистого заряду) глибини ущільнення структурно-нестійкого ґрунту вибухом накладних зарядів спінених вибухових композицій на основі обробленої ультразвуком селітри у порівнянні з ігданітом.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи полягають в наступному:

– розроблено пристрої (отримано 2 декларацїйних патенти) та способи приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції для ущільнення просадних структурно-нестійких ґрунтів для цивільного й промислового будівництва;

– запропоновано спосіб розмінування місцевості шляхом човникового переміщення пінного ствола уздовж фронту робіт протяжністю 100 – 200 м за один цикл з покриттям поверхні ґрунтового масиву шаром пінної суспензії потужністю 50–70 мм та смужкою шириною 5–10 м з подальшим підриванням площинного заряду пінного композиту ниткою ДШ. Технологія перспективна для ущільнення ґрунтових масивів під злітні смуги на польових летовищах шляхом переміщення пінного ствола уздовж злітної смуги.

Впровадження та пропозиції з використання отриманих результатів. Результати дисертаційної роботи використані в методичних матеріалах дисциплін гірничого спрямування: розділ до лекційного курсу «Applied geophysics» («Прикладна геофізика»), розділ до лекційного курсу «Спеціальні способи будівництва» для студентів спеціальності 184 «Гірництво», а також випробувано у виробничих умовах ТОВ «ЕКО-БУД-ТРЕЙД» при ущільненні структурно-нестійкого масиву.

Особистий внесок здобувача.

Дисертація є самостійною і завершеною науково - дослідною роботою. Автором визначені мета і завдання досліджень, сформульовані основні наукові положення дисертаційної роботи: запропоновано вдосконалені малощільні вибухові композиції для ущільнення просадних структурно-нестійких ґрунтів на основі аміачної селітри [1, 3, 9]; визначено фізико-хімічні характеристики запропонованих нових вдосконалених вибухових речовин та встановлено їх вплив на просадні властивості структурно-нестійких ґрунтів [2, 11]; досліджено ступінь ущільнення структурно-нестійких ґрунтів вибуховим способом при застосуванні накладних та свердловинних зарядів на основі нових вдосконалених вибухових композицій [6]; досліджено вплив ультразвукової обробки на утримуючу здатність та пористість як аміачної селітри, так і вибухової композиції в цілому [4, 10]; теоретично розраховано час зростання та тривалість вибухового імпульсу зарядів на основі спінених ВР, як звичайних, так і оброблених ультразвуковим випромінюванням [6]; запропоновано спосіб і пристрої для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції [7, 8], формування подовжених або свердловинних зарядів по всій ущільнюючій площі уздовж фронту виконання робіт [5].

Дисертаційна робота виконана у науково-дослідніїї лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів Інституту гідромеханіки НАН України під керівництвом д.т.н., проф. Бойка В.В. і на кафедрі геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститутіт імені Ігоря Сікорського» були виконані компресійні дослідження ґрунтів.

Апробація результатів дисертації. Окремі положення дисертаційної роботи доповідались на семінарах Інституту енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського: на VIII міжнародній науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» молодих вчених – аспірантів і магістрантів «Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва» (Київ, 2016); на II міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики» (Київ, 2019).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 11 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та Європейського Союзу), 1 стаття в інших виданнях України, 2 патенти України, 2 тези доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 184 сторінок. Основний зміст дисертації, що викладено на 153 сторінках, містить 42 рисунки, 22 таблиці та формули. Дисертація містить 3 додатки на 3 сторінках. Список використаних джерел налічує 137 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі виконано обґрунтування актуальності обраної теми досліджень, показано зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету, основні наукові та практичні положення досліджень, що виносяться на захист, які на основі запропонованих і вдосконалених рецептур малощільних спінених вибухових композицій, оброблених ультразвуковим випромінюванням з метою формування необхідних вибухових параметрів, що вперше дозволило в комплексі із запропонованим способом приготування та розробленим пристроєм для формування накладних, подовжених та вертикальних зарядів по всій ущільнюючій площі під забудову, проводити вибухові роботи щодо забезпечення стійкості структурно-нестійких ґрунтів. Розкрито особистий внесок автора у наукові праці, які опубліковані разом із співавторами. Викладено дані щодо апробації та публікації отриманих результатів досліджень.

В першому розділі роботи виконано аналіз існуючих фізико-хімічних і фізико-механічних способів та методів ліквідації просадних властивостей структурно-нестійких ґрунтів, які здійснюються у межах верхньої зони просадки або її частини важкими трамбівками, влаштуванням ґрунтових подушок, втрамбовуванням котлованів, хімічним або термічним закріпленням, або у межах всієї просадної товщі – глибинним ущільненням ґрунтовими палями, попереднім замочуванням ґрунтів основи, у тому числі глибинними вибухами, хімічним або термічним закріпленням. Поряд з невибуховими методами перспективним є використання енергії вибуху при ущільненні ґрунтів, але такі методи вимагають застосування малощільних вибухових речовин (ВР) з керованими вибуховими параметрами.

Великий вклад у розвиток теоретичних і практичних знань у даній проблемі внесли відомі вітчизняні та зарубіжні науковці: В. В. Бойко, О. О. Вовк, Ю. І. Войтенко, В. В. Воробйов, Г. І. Гайко, С. В. Зайченко, Н. В. Зуєвська, В. Г. Кравець, Н. С. Ремез, М. С. Собко, О. М.Терентьєв, К. Н. Ткачук, О. О. Фролов, Б. Ю. Четверик та інші.

Аналіз відомих джерел, що висвітлюють досягнення теорії і практики з розробки методів керування вибуховим імпульсом та застосування малощільних ВР при ущільнені структурно-нестійких ґрунтів енергією вибуху присвячені роботи М.О. Лаврентьєва. О.А. Вовка, В.В. Бойка, В.Г. Кравця, М.М. Маслова, Н.А. Філімонова, В.А. Флоріна, Г.М. Ляхова, Н.М. Ситого, С.В. Малашенка, І.І.

Іщенка, І.А. Лучка, Н.С. Ремез та ін. В результаті їхніх досліджень було встановлено, що ефективно керувати вибуховим імпульсом можна за рахунок оптимізації його амплітудно-часових параметрів з метою забезпечення максимального просторового розвитку зон ущільнення або оптимізації швидкості деформації ґрунтового масиву, що впливає на ступінь та товщу її ущільнення. Фізична суть цих методів полягає у тому, що внаслідок збільшення часових параметрів імпульсного впливу на середовище, частотний спектр хвиль напружень зсувається в область низьких частот, а оскільки хвильові збурення на цих частотах загасають більш повільно, ніж на високих, то розглянуті методи сприяють збільшенню зони напружено-деформованого стану ґрунтового масиву. Разом з тим, в наш час, в Інституті гідромеханіки Національної академії наук України в науково-дослідній лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів дослідження продовжуються на новому науковому та технологічному рівні. Беручи до уваги, що метод ущільнення структурно-нестійких 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. Оскільки в будівельній практиці ущільнення структурно-нестійких ґрунтів є важливим технологічним елементом, досі продовжується розвиток вибухових методів та їх конкуренція з невибуховими методами.

В зв'язку з цим виникають нові задачі для вибухових технологій з ущільнення структурно-нестійких ґрунтів в напрямку розробки нових низькошвидкісних водонаповнених спінених вибухових композицій з тривалим імпульсом для забезпечення рівномірного ущільнення на необхідну потужність структурно-нестійких ґрунтів.

На основі проведеного аналізу сучасних досягнень науки і практики по даному напрямку сформульовані вищевказані мета і задачі дослідження.

У розділі 2 розглянуто існуючі рецептури безтротилових вибухових речовин на основі аміачної селітри (АС) та запропоновано вдосконалені малощільні спінені вибухові композиції. Визначено фізико-хімічні та вибухові характеристики запропонованих нових вдосконалених ВР.

Компонентний склад і характеристики малощільних ВР, розроблених у відділі прикладної геодинаміки вибуху та вдосконалена ВР (АС/СФ/АП), наведені в таблиці 1 та 2. Для порівняння показані характеристики стандартного ігданіту

Таблиця 1 – Компонентний склад малощільних ВР

№ п/п	Компоненти ВР	Склад компонентів, вага %			
		Ігданіт АС/ДП	**Малощільна ВР АС/СФ/ВП**	**Малощільна ВР АС/СФ/ППС**	**Малощільна ВР АС/СФ/АП**
1	Аміачна селітра	94,5	87	87	90
2	Дизельне паливо	5,5	–	–	–
3	Сульфонал – порошок	–	3	3	6
4	Вугільний пил	–	10	–	–
5	Пінополістирол	–	–	10	–
6	Алюмінієва пудра	–	–	–	4

Запропоновані малощільні ВР на основі АС/СФ/АП відрізняються високою фізичною стабільністю в інтервалі температур від +30 до -40°С. Стабільність спінених ВР при негативних температурах в закритому об'ємі не перевищує 5 – 8 діб.

Встановлені динамічні характеристики малощільних ВР свідчать про те, що: бризантність малощільних ВР не перевищує (10 – 11)·10^{-3} м, коли у ігданіта вона становить (15 – 20)·10^{-3} м, а у амоніта №6ЖВ – (24 – 29)·10^{-3} м; тривалість зростання тиску в імпульсі до максимуму у малощільних ВР досягає (43 – 60)·10^{-6} с, відповідно у ігданіта - (30 – 40)·10^{-6} с та у амоніта №6ЖВ – (4 – 5)·10^{-6} с; тиск на фронті хвилі у малощільних сумішевих ВР не перевищує (0,5 – 0,95)·10^{9} Па, в той час, як у амоніта №6ЖВ він досягає до (5,5 – 6,1)·10^{9} Па; швидкість зростання тиску в імпульсі у малощільних ВР становить (0,08 – 0,22)·10^{14} Па/с, проти (11 – 15)·10^{14} Па/с у амоніта №6 ЖВ.

Таблиця 2 – Динамічні характеристики малощільних ВР

№ п/п	Найменування характеристики	Од. вим.	Найменування ВР				
			Амоніт №6ЖВ	Ігданіт АС/ДТ	Малощільна ВР АС/СФ/ВП	Малощільна ВР АС/СФ/ППС	Малощільна ВР АС/СФ/АП
1	Швидкість детонації: відкритий заряд	10^{3}м/с	3,2-3,7	2,4-2,6	1,4-2,0	1,0-1,5	1,5-2,1
	заряд в жорсткій оболонці		3,5-4,8	2,7-3,0	1,6-2,4	1,4-2,1	1,6-2,5
2	Бризантність ВР	10^{-3}м	24-29	15-20	8-10	5-7	9-11
3	Час зростання тиску в імпульсі	10^{-6}с	4-5	30-40	45-50	55-60	43-48
4	Тиск на фронті хвилі	10^{9}Па	5,5-6,1	2,0-2,5	0,8-0,9	0,5-0,6	0,85-0,95
5	Швидкість зростання тиску	10^{14} Па/с	11-15	0,5-0,8	0,16-0,20	0,08-0,11	0,18-0,22

Отже, запропоновані вдосконалені рецептури компонентного складу малощільних спінених вибухових композицій місцевого приготування на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активної речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри, які відрізняються значною фізичною стабільністю, а встановлені динамічні характеристики забезпечують підвищення ефективності застосування вибухового методу ущільнення просадних структурно-нестійких ґрунтів.

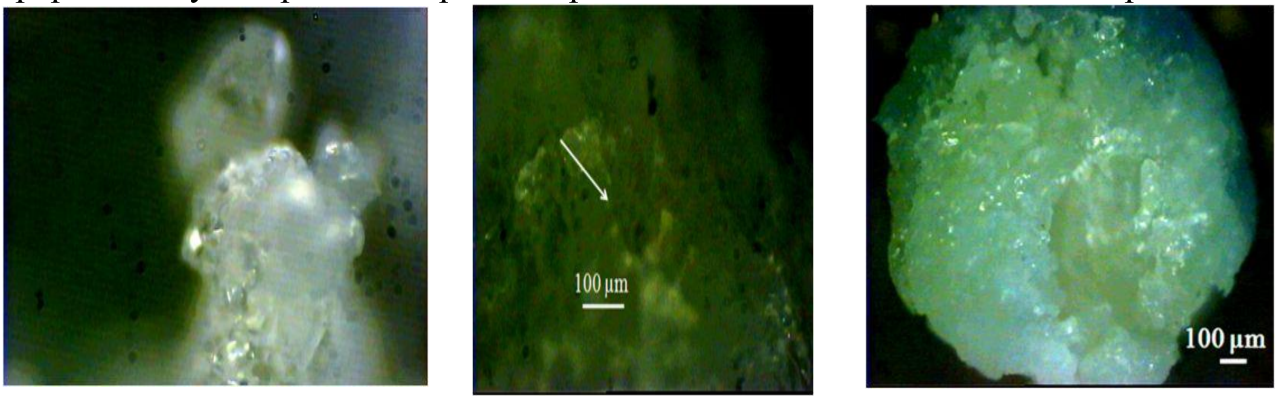
У розділі 3 досліджено вплив ультразвукового випромінювання на зовнішню та внутрішню структури гранул, на утримуючу здатність та пористість аміачної селітри, а також на формування вибухових параметрів спінених водонаповнених композицій.

Мікроскопічні дослідження сколу гранул аміачної селітри були проведені за допомогою мікроскопа Ломо Метам Р-1, оснащеного CCD відеокамерою DigitalKOCOM, які дозволяють виводити дані дослідних зразків на дисплей комп'ютеру зі збільшенням у 176, 360 та 900 разів (рис. 1).

В ході мікроскопічного дослідження зовнішньої та внутрішньої структури сколу гранул (частинок) аміачної селітри було виявлено, що наявні на поверхні

пори знаходяться в межах від 3 % до 8 % і ця частина поверхні існуючих пор гранули залишається не реалізованою, оскільки вона знаходиться в закритому вигляді.

Після обробки ультразвуковим випромінюванням гранул різних типів АС встановлено (рис. 2, табл. 3), що суттєво збільшується її утримуюча здатність за рахунок збільшення активної площі поверхні, яка виникає в наслідок перерозподілу відкритої і закритої пористості як для щільної так і для пористої АС.



а б в

Рисунок 1 – Загальний вигляд поверхні пор гранульованої аміачної селітри: а – глибиною 40 мкм; б – глибиною 60 мкм; в – після обробки ультразвуком

Таблиця 3 – Утримуюча здатність аміачної селітри відносно дизельного палива

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

Водночас цей вплив носить нелінійний характер. Тобто, на першому етапі при збільшенні часу обробки ультразвуком до 4 хвилин утримуюча здатність АС збільшується і становить максимум.

Це підтверджується максимальним перерозподілом відкритої і закритої пористості. 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.

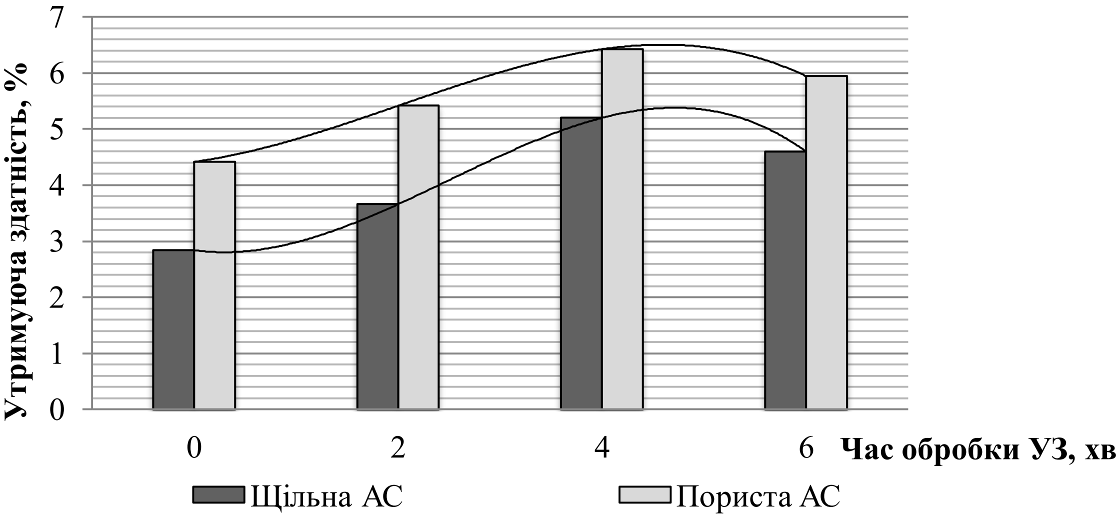


Рисунок 2 – Аналіз впливу ультразвукової обробки на утримуючу здатність щільної та пористої АС відносно ДП

Аналогічна картина спостерігається при дослідженні динамічних характеристик спінених ВР після обробки ультразвуковим випромінюванням, а саме: дещо збільшуються швидкість наростання тиску в імпульсі; значно покращуються динамічні характеристики, а добавка 3 – 4 % дисперсного алюмінію сприяє покращенню додатково фізичної стабільності.

У розділі 4 аналітично розглянуто можливість керування параметрами вибухового імпульсу, теоретично виконано розрахунок його параметрів та математично змодельоване розповсюдження вибухових хвиль малощільних ВР в структурно-нестійких ґрунтах.

При виході детонаційної хвилі на межу розподілу «продукти детонації - середовище» виникає ударна хвиля, початковий тиск якої визначається рішенням системи рівнянь:

$$\begin{cases} U_н = \sqrt{(P_{max} - P_0)\cdot(v_0 - v)} \\ P_{max} = B\left[(\frac{\rho}{\rho_0})^n - 1\right] \\ U_н = \frac{D}{K+1}\left(1 - \sqrt{2K}\frac{\frac{p_{max}}{2Pcp}-1}{\sqrt{(K+1)\frac{P_{max}}{2Pcp}+(K-1)}}\right) & \text{при } P_{max} > P_{cp} \\ U_н = \frac{D}{K+1}\left\{1 + \frac{2K}{K-1}\left[1 - (\frac{P_{max}}{2Pcp})^{\frac{K-1}{2K}}\right]\right\} & \text{при } P_{max} < 2P_{cp} \end{cases} \quad (1)$$

де P_{max} – початковий тиск на фронті ударної хвилі; $v_0 = \frac{1}{\rho_0}$ – питомий об’єм незбуреного середовища; $v = \frac{1}{\rho}$ – питомий об’єм середовища на фронті ударної хвилі; D – швидкість детонації; P_{cp} – тиск в свердловині за умови миттєвої детонації.

В умовах реальної детонації тиск на межі розподілу «продукти детонації–середовище» описується наступними залежностями.

$$P_r = \left(\frac{r_0}{r}\right)^6 \left[\left(P_{max}\frac{r'''-r}{r'''-r_0}\right) + P_{min}\left(1-\frac{r'''-r}{r'''-r_0}\right)\right] \qquad \text{при } r_0<r<r'''$$

$$P_r = \left(\frac{r_0}{r}\right)^6 \left[\left(P_{min}\frac{r''-r}{r''-r'''}\right) + P_{сер}\left(1-\frac{r''-r}{r''-r'''}\right)\right] \qquad \text{при } r'''<r<r''$$

$$P_r = P_{cp}\left(\frac{r_0}{r}\right)^6 \qquad \text{при } r''<r<r' \qquad (2)$$

$$P_r = P_r'\left(\frac{r'}{r}\right)^{2\gamma} \qquad \text{при } r>r'$$

де r'' – положення межі розподілу, на якій тиск за рахунок вирівнювання досягає мінімуму; r_0 – радіус заряду; r – радіус межі розподілу «продукти детонації - середовище»; γ – показник ізентропи ідеального газу, який становить $\gamma = 1,3$

Час зростання вибухового імпульсу визначається за формулою:

$$\tau = \frac{0.4r_0}{{}^3/_4\, D} \qquad (3)$$

Аналіз результатів розрахунків (табл. 4, рис. 3) показав, що максимальний тиск спіненої ВР на 33 % менший порівняно з амонітом №6 ЖВ і на 20 % за ігданіт. Ще менший максимальний тиск притаманний спіненій ВР, обробленій ультразвуковим випромінюванням, який на 49 % менший порівняно з амонітом №6 ЖВ і на 40 % - порівняно з ігданітом.

Таблиця 4 – Розрахункові параметри вибухового імпульсу ВР

Найменування		**Показники**			
		амоніт №6 ЖВ	**ігданіт**	**спінена ВР**	**спінена ВР з УЗ**
Початковий тиск на фронті ударної хвилі, $P_{max} \cdot 10^9$ *Н/м²*		8,19	6,92	5,52	4,18
Тиск в свердловині, за умови миттєвої детонації, $P_{сер} \cdot 10^9$ *Н/м²*		6,89	5,82	4,27	3,25
Мінімальний тиск, $P_{min} \cdot 10^9$ *Н/м²*		6,37	5,38	3,77	3,26
Тиск в момент часу t_1, $P_r \cdot 10^9$ *Н/м²*		1,9	1,76	0,31	0,4
Тиск в момент часу t_2, $P_r \cdot 10^9$ *Н/м²*		0,22	0,24	0,009	0,016
Час проходження ділянки від r^0 до r''', t_1, $\cdot 10^{-6}$ *с*		5,1	5,57	12,8	12,8
Час проходження ділянки від r''' до r'', t_2, $\cdot 10^{-6}$ *с*		38,5	39,94	135,4	122,3
Час зростання вибухового імпульсу, мкс при:	r_0=0,03 м	4,3	4,6	10,6	10,6
	r_0=0,06 м	8,65	9,28	21,33	21,33
	r_0=0,09 м	12,97	13,91	32,0	32,0

При цьому максимальна тривалість вибухового імпульсу на межі «продукти детонації – середовище» для спіненої ВР в 3,5 рази більша за амоніт №6 ЖВ і ігданіт, а для спіненої ВР, обробленої ультразвуковим випромінюванням, дещо більша ніж в 3 рази.

Як видно з рисунку 3, у зарядах на основі спінених ВР головна частина вибухового імпульсу має мінімальне пікове значення тиску і максимальну тривалість. При цьому тиск спіненої ВР після обробки ультразвуковим випромінюванням дещо менший, ніж у звичайної спіненої ВР, але при цьому менша тривалість вибухового імпульсу.

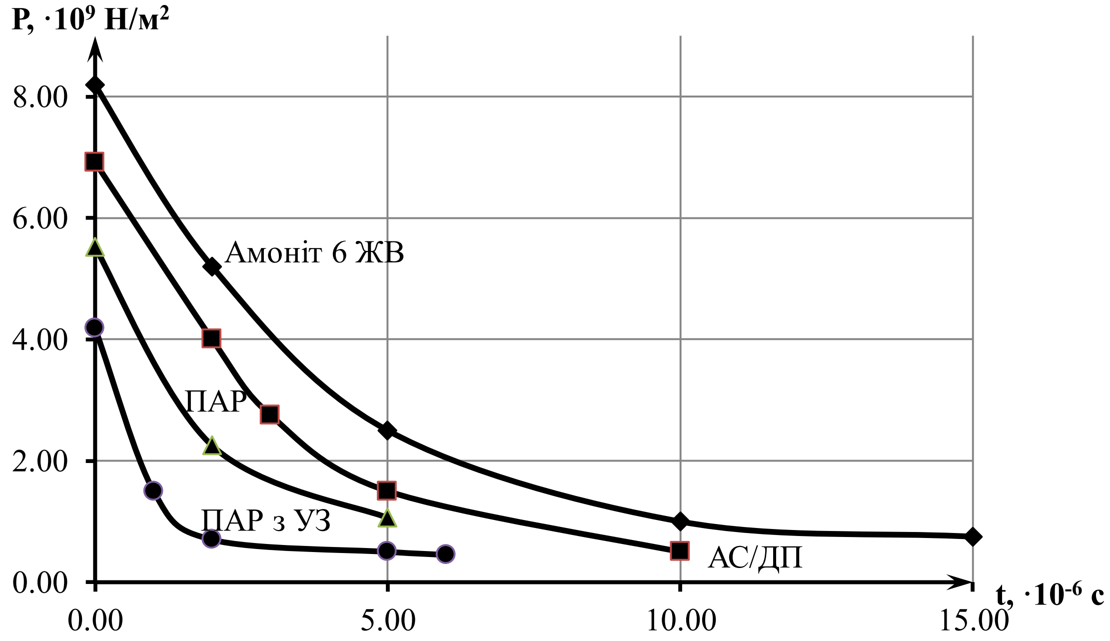


Рисунок 3 – Залежність тиску на межі розподілу «продукти детонації – середовище» від часу

Аналогічна закономірність спостерігається і при дослідженні тривалості зростання вибухового імпульсу.

Отже, дані теоретичних розрахунків свідчать про те, що найбільшого ефекту при ущільнені просадних ґрунтів можна досягти за рахунок застосування спінених ВР, як звичайних, так і оброблених ультразвуковим випромінюванням, які при мінімальному значенні тиску на межі «продукт детонації – середовище» мають значну тривалість вибухового імпульсу, що в свою чергу має сприяти рівномірному ущільненню структурно-нестійких ґрунтів на необхідну товщу.

У **розділі 5** розглянуто результати лабораторних і полігонних досліджень ущільнення структурно-нестійких ґрунтів вдосконаленими малощільними ВР, розроблено способи і пристрої для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції та наведено техніко – економічні рекомендації з методів ущільнення структурно-нестійких ґрунтів за допомогою енергії вибуху.

Для підтвердження даних теоретичних досліджень (табл. 5) в польових умовах були проведені експерименти з визначення ефективності накладних зарядів на основі малощільної ВР. При дослідженні для порівняння застосовувалися стандартні ВР, а саме: амоніт №6ЖВ і ігданіт АС/ДТ. Заряди ВР масою 14–16 кг розміщувались в ґрунті на глибині 1,7–1,8 м. Після підривання ВР вимірювались параметри воронки, глибина зони ущільнення і розподіл деформацій ґрунту.

Як видно з наведених даних, найбільший об'єм воронки при найменших питомих витратах забезпечує малощільна спінена ВР. При цьому вона забезпечує зростання ступеня ущільненого ґрунту.

Таблиця 5 – 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	$м^3$	6,3	6,6	8,1
6	Питомі витрати ВР	$кг/м^3$	2,22	2,40	1,97
7	Щільність ґрунту: - до ущільнення	10^3 $кг/м^3$	1,35-1,40	1,35-1,40	1,35-1,40
	- після ущільнення		1,57-1,65	1,55-1,66	1,66-1,76
8	Деформації	10^2	14,01-15,15	12,9-15,66	18,67-20,45

Одночасно зі встановленням працездатності зарядів досліджено ступінь ущільнення лесових ґрунтів вибуховим способом за допомогою зустрічних похилих свердловин (рис. 4) та накладних зарядів (рис. 5), в яких підривались лінійні заряди ВР.

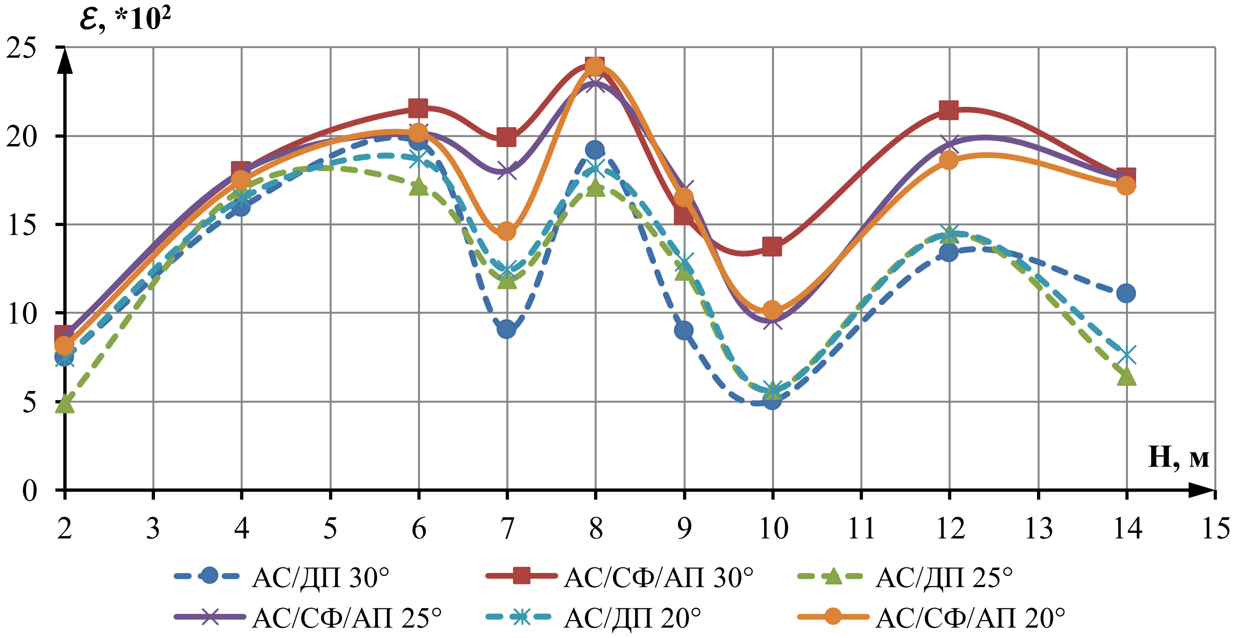


Рисунок 4 – Залежність деформацій ґрунтового масиву від типу ВР та кута нахилу свердловини

Отримана залежність свідчить про те, що при оптимальних кутах нахилу свердловин у 20–30° більш висока щільність ґрунту отримана при застосуванні малощільної ВР. Заряди ігданіту забезпечують менший, хоча і достатній для практичних цілей, ефект ущільнення.

Саме ущільнення (деформації) носить пульсуючий характер. Тобто, спочатку до глибини 4,5 – 6 м для ігданіту і 6 – 7 м для малощільної ВР спостерігається різкий стрибок щільності. Нижче відбувається деякий спад, і знову підвищення щільності. З глибиною ця пульсація затухає. Таку поведінку ущільнення ґрунтового масиву можна пояснити тим, що під час вибуху, по мірі розповсюдження детонації вздовж заряду, виділяється значна кількість газів, яка діє в глиб ґрунтового масиву. При цьому утворюється зона ущільнення. Після того, як гази продуктів детонації перестають діяти на ґрунтовий масив, відбувається зворотний ефект, тобто утворюється зона розвантаження, яка призводить до зниження щільності.

Характер самої амплітуди пульсації щільності залежить від параметрів імпульсу ВР, тобто, чим менший тиск на фронті детонаційної хвилі і більша тривалість його зростання у вибуховому імпульсі, тим більша амплітуда. А це, в свою чергу, призводить до більш тривалої дії газів продуктів детонації на оточуючий масив, а відповідно, і збільшення щільності, що підтверджує теоретичні дослідження.

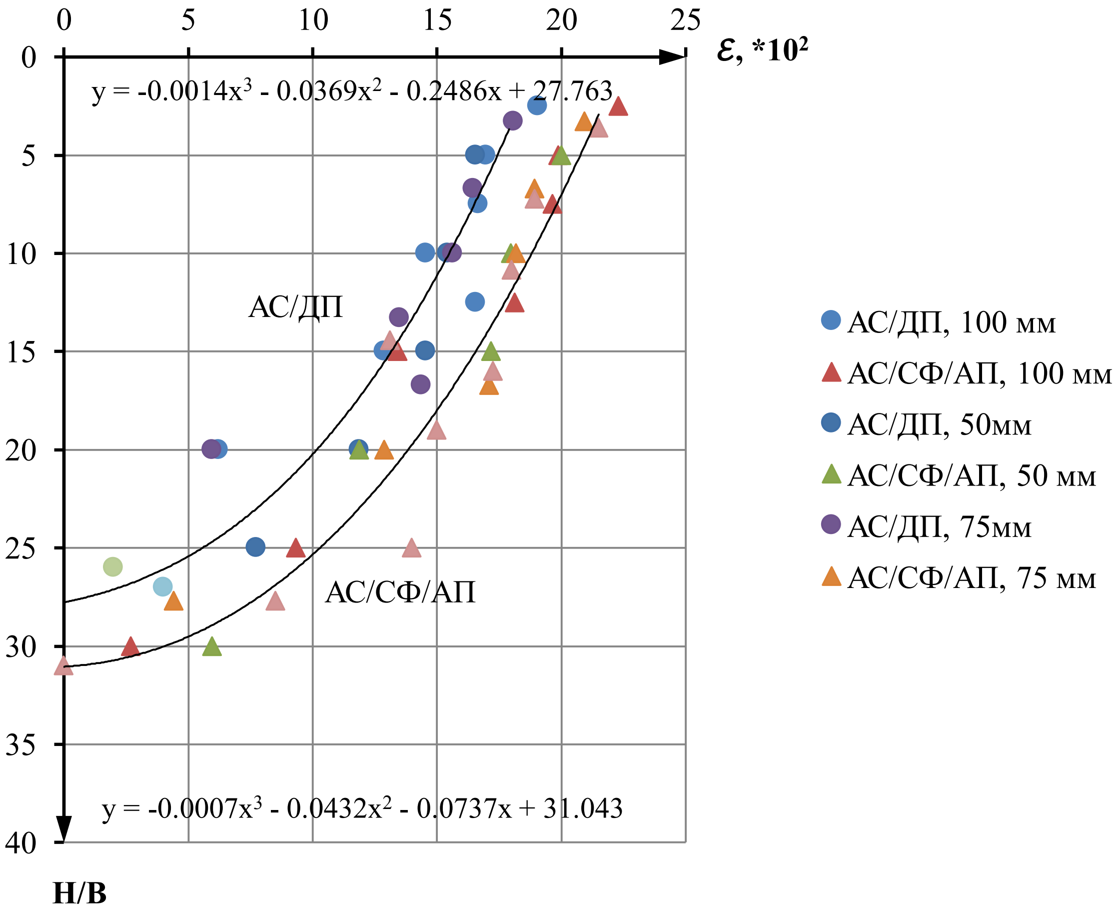


Рисунок 5 – Залежність деформацій лесових ґрунтів від типу ВР

Як видно з результатів досліджень характер ущільнення ґрунтового масиву поверхневими накладними зарядами, як і свердловинними, носить нелінійний пульсуючий характер. Ущільнення ґрунтового масиву при цьому виконується на

глибину до 2,0 м для ігданіту та на глибину до 3,0 м для малощільної ВР при потужності заряду 100 мм.

В цілому, результати проведених експериментів свідчать про те, що низькошвидкісні, малощільні ВР забезпечують ущільнення просадних лесових ґрунтів на більшу глибину масиву, що становить 27–30 потужностей заряду у порівнянні з ігданітом, який забезпечує ущільнення на глибину до 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. При застосуванні вибухових технологій особлива увага приділяється приготуванню, транспортуванню та зберіганню вибухових матеріалів. Для вирішення цієї задачі було розроблено та застосовано пристрої для приготування вибухових композицій.

Даний пристрій (рис. 6) дозволяє механічно змішувати розчин ПАР і аміачної селітри в низькошвидкісному режимі, без спінювання суміші; дозувати аерацію, за рахунок ежектування повітря, потоку суміші; прямоточно подавати спінену вибухову композицію, під тиском та у значних об’ємах, до місця застосування.

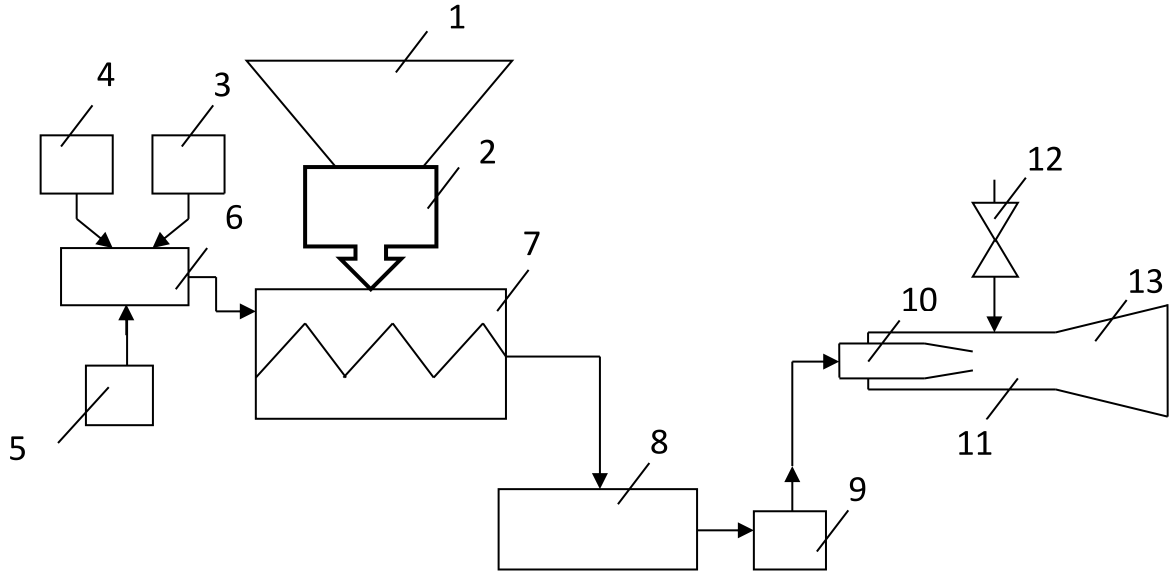


Рисунок 6 – Загальний вигляд пристрою для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції: 1– бункер аміачної селітри, 2 – дробарка для подрібнення гранульованої аміачної селітри, 3 – ємність ПАР, 4 – ємність води, 5 – ємність з алюмінієвою пудрою, 6 – ємність водного розчину ПАР, 7 – низкообертовий механічний змішувач, 8 – накопичувальна ємність суспензії, 9 – насос, 10 – сопло, 11 – ежектор, 12 – вентиль-дозатор повітря, 13 – пінний ствол.

Пристрій працює наступним чином. Гранульована аміачна селітра попередньо оброблена ультразвуком з бункера 1 і дробарки 2 надходить в змішувач 7, в який дозується розчин ПАР з ємності 6 та алюмінієва пудра з ємкості 5. Готова суспензія

надходить у накопичувальну ємність 8. Насосом 9 суспензія при необхідності подається під тиском в сопло 10. Швидкісний потік суспензії надходить в ежектор 11 і засмоктує повітря, що надходить з атмосфери через вентиль-дозатор 12. Потік аерується, тобто насичується високодисперсними бульбашками повітря. Отримана піносуспензія надходить у пінний ствол 13 і вже, як спінена вибухова композиція, подається безпосередньо до місця ведення вибухових робіт.

Ущільнення просадного ґрунту виконується шляхом перенасичення пінного покриттям шару піносуспензії 50 – 100 мм смужки ґрунту шириною 5 – 10 м протяжністю 100 – 200 м уздовж фронту робіт і підривом вибухового композиту ниткою ДШ. За один цикл обробляється площа землі до 1000 м^2.

Загальний економічний ефект від впровадження запропонованого способу на ділянці розміром 10х10 м, глибиною просадної товщі 25 м становить 12163,4 грн. або 32,3 % у порівнянні з одним з найвідоміших способів закріплення ґрунтового масиву – цементацією.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково - дослідною роботою, у якій на основі розробки вдосконалених малощільних спінених вибухових композицій з керованими вибуховими параметрами, встановлених закономірностей ступеня ущільнення структурно-нестійкого ґрунту під час вибуху накладних та свердловинних зарядів різних типів ВР, залежності величини пористості і утримуючої здатності різних типів АС та від впливу ультразвукового випромінювання, вирішено актуальну задачу удосконалення вибухової технології ущільнення просадних структурно-нестійких ґрунтів.

Основні наукові і практичні результати полягають у наступному:

1. На основі термодинамічних розрахунків запропоновано вдосконалені рецептури компонентного складу малощільних спінених вибухових композицій місцевого приготування на основі аміачної селітри (АС), розчину поверхнево-активної речовини (ПАР) і алюмінієвої пудри, які відрізняються значною фізичною стабільністю, а встановлені динамічні характеристики забезпечують підвищення ефективності застосування вибухового методу ущільнення просадних структурно-нестійких ґрунтів.

2. Обробка гранул АС ультразвуковим випромінюванням призводить до її ущільнення та підвищення утримуючої здатності. Причому, при наростанні впливу ультразвукового випромінювання до 4 хвилин, ці показники сягають максимуму: загальна пористість зменшується на 0,7 % для щільної АС і на 1,1 % для пористої АС, а утримуюча здатність збільшується на 5,2 % для щільної АС і 6,424 % для пористої АС. Подальше збільшення часу обробки АС ультразвуком призводить до зменшення її утримуючої здатності. Ця закономірність спостерігається як для пористої, так і для щільної АС.

3. Встановлено, що найменший піковий тиск на межі розподілу «продукти детонації – середовище» при найдовшій тривалості вибухового імпульсу спостерігається для зарядів на основі спінених ВР, як звичайних, так і оброблених ультразвуковим випромінюванням. Максимум тиску цих ВР менше на 20-49 %, а тривалість вибухового імпульсу довша в 3 – 3,5 рази порівняно зі стандартними

малощільними ВР. Час зростання вибухового імпульсу зарядів на основі спінених ВР, як звичайних, так і оброблених ультразвуковим випромінюванням в 2,3 рази більший, ніж для амоніту №6 ЖВ і в 2,47 рази більший за ігданіт.

4. Результати проведених експериментів свідчать про те, що малощільні спінені заряди на основі АС/СФ/АП забезпечують ущільнення на 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. При свердловинному способі оптимальний кут нахилу свердловини знаходиться в межах від 20° до 30°. Ущільнення ґрунтового масиву накладними зарядами потужністю 50, 75, і 100 мм забезпечує глибину ущільнення малощільною ВР відповідно на 25, 20 і 17 % більше, ніж стандартним ігданітом.

5. Встановлено, що характер ущільнення ґрунтів за допомогою енергії вибуху носить пульсуючий характер, який затухає по мірі проходження крізь масив. Характер самої амплітуди пульсації щільності залежить від параметрів імпульсу ВР, тобто, чим менший тиск на фронті детонаційної хвилі і більша тривалість його зростання у вибуховому імпульсі, тим більша амплітуда. А це, в свою чергу, призводить до більш тривалої дії газів продуктів детонації на оточуючий масив, а відповідно, і збільшення щільності.

6. Отримані результати компресійних досліджень свідчать про те, що щільність значно впливає на деформаційні і фізико-механічні властивості структурно-нестійких ґрунтів, збільшення якої забезпечує підвищення модуля загальної деформації і початкового тиску просідання, при цьому зменшується відносна стисливість та відносне просідання ґрунтів. Цю характерність доцільно застосувати при визначенні необхідного ступеня ущільнення, регулювання якого дозволить встановити необхідні показники деформаційних характеристик для забезпечення стійкості просадних структурно-нестійких ґрунтів.

7. Розроблено пристрої та запропоновано способи приготування водонаповненого спіненого вибухового композиту безпосередньо на місці проведення робіт.

8. Застосування даного способу можливо: для розмінування місцевості шляхом човникового переміщення пінного ствола уздовж фронту робіт протяжністю 100 – 200 м за один цикл з покриттям шару піносуспензії 50 – 70 мм смужки ґрунту шириною 5 – 10 м і подальшим підривом вибухового композиту ниткою ДШ; для розмінування пересіченої місцевості; для ущільнення ґрунту злітних смуг на польових летовищах; для розмінування мінних полів.

9. Загальний економічний ефект від впровадження запропонованого способу ущільнення просадних структурно-нестійких ґрунтів на ділянці розміром 10х10 м, глибиною просадної товщі 25 м становить 12163,4 грн. або 32,3 % у порівнянні з відомим способом цементацією.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях:

1. В. В. Бойко, А. Л. Ган, та О. В. Ган, "Ущільнення просадних ґрунтів вдосконаленими зарядами малої щільності", *Збірник наукових праць НГУ*, №55, С.152-162. 2018. Доступно: URL: ***http://znp.nmu.org.ua/pdf/2018/55/17.pdf***

(включено до баз даних «Google Scholar, НБУ імені В. І. Вернадського»). Особистий внесок дисертанта: запропоновано вдосконалені малощільні вибухові суміші для ущільнення просадних ґрунтів; досліджено ступінь ущільнення лесових ґрунтів вибуховим способом при застосуванні різних накладних зарядів на основі нових вдосконалених вибухових речовин.

2. В. В. Бойко, О. В. Ган, В. Г. Кравець, та А. Л. Ган, "Вплив ультразвукового випромінювання на динамічні характеристики спінених вибухових композиції", *Збірник наукових праць НГУ,* № 59, С. 56-65. 2019. DOI: https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.056. *(включено до баз даних «Google Scholar, НБУ імені В. І. Вернадського»). Особистий внесок дисертанта: встановлено вплив ультразвукового випромінювання на запропоновані спінені вибухові композиції місцевого приготування на основі рідких ПАР.*

3. В. В. Бойко, О. В. Ган, В. Г. Кравець, та А. Л. Ган, "Спосіб приготування та добір компонентного складу спінених вибухових композицій для ущільнення просадних ґрунтів", *Технічна інженерія,* № 2(84), С. 126-132. 2019. DOI: https://doi.org/10.26642/ten-2019-2(84)-126-132. *(включено до баз даних «Google Scholar, Index Copernicus, DOAJ, НБУ імені В. І. Вернадського»). Особистий внесок дисертанта: запропоновано добір компонентного складу водонаповнених спінених вибухових композицій низької щільності; досліджено динамічні та фізико-технічні характеристики малощільних спінених вибухових композицій.*

4. О. В. Ган, А. Л. Ган, В. В. Вапнічна, та Л. В. Шайдецька, "Зміна пористості та утримуючої здатності аміачної селітри під впливом ультразвукового опромінення", *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського,* № 6(119), С. 99-105. 2019. DOI: 10.30929/1995-0519.2019.6.99-105 *(включено до баз даних «Ulrich's Web Global Serials Directory, eLIBRARY, Index Copernicus, Polish Scholarly Infobase Index, OAJI, Google Scholar, НБУ імені В. І. Вернадського»). Особистий внесок дисертанта: проведені дослідження зі збільшення активної площі поверхні частинок (гранул) аміачної селітри (АС) під дією ультразвукового випромінювання; отримано залежність утримуючої здатності АС від часу обробки її ультразвуком для щільної та пористої аміачної селітри.*

5. В.Г. Кравець, В.В. Бойко, А.Л. Ган, О.В. Ган, та О.С. Марченко, «Застосування енергії вибуху під час виконання спеціальних гірничо–будівельних робіт», науково–практичний журнал Сучасна спеціальна техніка МВС України ДНДІ, № 2(61), С. 135-150. 2020. DOI: doi.org/10.36486/mst2411–3816.2020.2(61). *(включено до баз даних «Index Copernicus International Journals, Google Scholar, НБУ імені В. І. Вернадського»). Особистий внесок дисертанта: проведені розрахунки по досягненню рівномірного і ефективного ущільнення ґрунту всією глибиною оточуючого масиву за допомогою енергії вибуху.*

6. O. Han, V. Boiko, V. Kravets, and A. Han, "Formation of parameters of foamed explosive mixtures for sealing soils", *ScienceRise, Estonia*, № 5, pp.6–12. 2020. DOI: https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001430. *(надруковано у виданні держави, що входять до ЄС (Естонія); включено до баз даних «Google Scholar,*

Index Copernicus International, CrossRef, WorldCat, DOAJ, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, НБУ імені В. І. Вернадського»). Особистий внесок дисертанта: розроблено та обґрунтовано принципи управління вибуховим імпульсом шляхом регулювання вмістом і щільністю вибухових речовин (ВР) за рахунок ультразвукового випромінювання і спінення малощільних вибухових сумішей.

Патенти на корисні моделі:

7. В. В. Бойко, Ю. П. Приходько, В. К. Гончар, К. С. Золотухін, Ю. Ю. Орлов, В. І. Плужник, та О. В. Ган, "Пристрій для приготування водонаповненої вспіненої вибухової композиції", *МПК: E21C 37/00, UA № 122425*, бюл. № 1, 10.01.2018. (Диплом, лауреата І премії, конкурсу «Краще видання року» НАН ВО України). Доступно: https://base.uipv.org/searchinv/earch.php?action=viewdetails&IdClaim=243235

8. В. В. Бойко, Т. В. Хлевнюк, Л. В. Лавренов, О. В. Ган, та Ю. П. Приходько, "Спосіб приготування водонаповненого спіненого вибухового композиту для ущільнення ґрунтів та розмінування місцевості", *МПК E21C 37/00 F41H 11/00, UA № 140360*, бюл. № 4, 25.02.2020. Доступно: https://base.uipv.org/searchinv/search.php?action=viewdetails&IdClaim=266114

Публікації за матеріалами конференцій:

9. В. В. Бойко, та О. В. Ган, "Аналіз сучасних методів і способів усунення просідних властивостей лесових ґрунтів", на *VIII Міжнародній науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» «Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва», Київ, 1-3 червня 2016 р*. С. 95-99. Доступно: https://geobud.kpi.ua/sites/default/files/conf_2016.pdf

Особистий внесок дисертанта: літературний аналіз, формування ідеї.

10. О. В. Ган, А. Л. Ган, В. В. Бойко, В. Г. Кравець, та В. В. Вапнічна, "Зміна пористості та утримуючої здатності аміачної селітри під впливом ультразвукового опромінення", на *ІІ Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики», Київ, 30.05.2019* [Електроний ресурс]. Доступно: https://geobud.kpi.ua/conference/problemygeoinzhenerii2/772

Особистий внесок дисертанта: участь у лабораторних випробуваннях, проведення аналітичних та математичних обрахунків.

Публікації у періодичних виданнях:

11. В. В. Бойко, О. В. Ган, та А. Л. Ган, "Дослідження параметрів вибухового імпульсу малощільних вибухових сумішей для ущільнення просадних ґрунтів", *Молодий вчений*, №12, С. 7-12. 2019. DOI: https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-12-76-2. *(включено до баз даних «Google Scholar, Research Bible, Index Copernicus, НБУ імені В. І. Вернадського»). Особистий внесок дисертанта: встановлено залежність тривалості зростання вибухового імпульсу від радіусу заряду для різних типів малощільних вибухових речовин.*

АНОТАЦІЯ

Ган О.В. Вдосконалення зарядів спінених вибухових речовин для ущільнення структурно-нестійкого масиву. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – "Геотехнічна і гірнича механіка". – Інститут

гідромеханіки Національної академії наук України – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі на основі запропонованих і вдосконалених рецептур малощільних спінених вибухових композицій, оброблених ультразвуковим випромінюванням з метою формування необхідних вибухових параметрів, вперше дозволило в комплексі із запропонованим способом приготування та розробленим пристроєм для формування накладних, подовжених та вертикальних зарядів по всій ущільнюючій площі під забудову, проводити вибухові роботи щодо забезпечення стійкості структурно-нестійких ґрунтів.

Особливу увагу приділено впливу ультразвукового випромінювання на структуру і фізико-механічні характеристики аміачної селітри та на детонаційні характеристики спінених вибухових композицій.

Аналітично розглянуто можливість керування параметрами вибухового імпульсу, теоретично виконано розрахунок його параметрів та математично змодельоване розповсюдження вибухових хвиль малощільних вибухових речовин (ВР) в структурно-нестійких ґрунтах.

Проведено лабораторні і полігонні дослідження ущільнення структурно-нестійких ґрунтів вдосконаленими малощільними ВР та розроблено способи і пристрої для приготування водонаповненої спіненої вибухової композиції.

Ключові слова: ультразвукове випромінювання, утримуюча здатність, спінені вибухові композиції, структурно-нестійкий ґрунт, ступінь ущільнення, вибуховий імпульс, тривалість імпульсу, час зростання імпульсу, пристрій для приготування вибухових композицій, детонаційні характеристики, піковий тиск, деформаційні процеси, площині заряди.

АННОТАЦИЯ

Ган Е.В. Усовершенствование зарядов вспененных взрывчатых веществ для уплотнения структурно-неустойчивого массива. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на получение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – "Геотехническая и горная механика". – Институт гидромеханики НАН Украины – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» Министерства образования и науки Украины, Киев, 2021.

В диссертационной работе на основе предложенных и усовершенствованных рецептур малоплотных вспененных взрывчатых композиций, обработанных ультразвуковым излучением с целью формирования необходимых взрывчатых параметров, впервые позволило в комплексе с предложенным способом приготовления и разработанным устройством для формирования накладных, удлиненных и вертикальных зарядов по всей площади уплотнения под застройку, проводить взрывные работы по обеспечению устойчивости структурно-неустойчивых грунтов.

Особое внимание уделено влиянию ультразвукового излучения на структуру и физико-механические характеристики аммиачной селитры и на детонационные характеристики вспененных взрывчатых композиций.

Аналитически рассмотрена возможность управления параметрами взрывного импульса, теоретически выполнен расчет его параметров и математически смоделировано распространение взрывных волн малоплотных взрывчатых веществ (ВВ) в структурно-неустойчивых грунтах.

Проведены лабораторные и полигонные исследования уплотнения структурно-неустойчивых грунтов усовершенствованными малоплотными ВВ и разработаны способы и устройства для приготовления водонаполненной вспененной взрывчатой композиции.

Ключевые слова: ультразвуковое излучение, удерживающая способность, вспененные взрывчатые композиции, структурно-неустойчивый грунт, степень уплотнения, взрывной импульс, длительность импульса, время роста импульса, устройство для приготовления взрывчатых композиций, детонационные характеристики, пиковое давление, деформационные процессы, плоскостные заряды.

ABSTRACT

O.V. Han. Improving the charges of foamy explosives to compact structurally unstable soil – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Sciences (Ph.D in Technical Science), specialty 05.15.09 – Geotechnical and Mining Engineering. Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» of the Ministry of education and science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The regularities and methods of forming the parameters of the explosive momentum of charges of low-density foamed explosive compositions in the technologies of compaction of structurally unstable soils are chosen as the subject of research. In the dissertation on the basis of the offered and improved compoundings of the low-density foamed explosive compositions processed by ultrasonic radiation for the purpose of formation of necessary explosive parameters that for the first time allowed in a complex with the offered way of preparation and the developed device for formation of to carry out blasting works to ensure the stability of structurally unstable soils.

Particular attention is paid to the effect of ultrasonic radiation on the structure and physical and mechanical characteristics of ammonium nitrate and on the detonation characteristics of foamed explosive compositions.

During the microscopic examination of the external and internal structures cleavage granules (particles) of ammonium nitrate was found that existing on the surface of the pores are in the range of 3% to 8% and that of the surface pores existing pellet is not implemented because it is sealed.

It is known that one of the methods of explosion control in the soil massif is the optimization of the amplitude-time parameters of the explosion pulse. Therefore, the article theoretically considers the impulse of the explosion at the boundary of the explosive – soil mass distribution for advanced foamed explosives compared to conventional ones, namely ammonite and igdanite, and found that the maximum pressure of the foamed explosive treated with ultrasonic explosives 49 % amonit and 40 % for ignadite. The maximum duration of the explosive pulse at the "detonation products - medium" boundary for foamed explosives treated with ultrasonic radiation is slightly more than 3 times. In charges based on foamed explosives, the main part of the explosive

pulse has a minimum value of peak pressure and maximum duration, as for explosives with the lowest detonation rate and the largest width of the chemical reaction zone. The pressure of the foamed explosive after treatment with ultrasonic radiation is slightly lower than that of a conventional foamed explosive, but the duration of the explosive pulse is shorter.

The nature of the propagation of explosive waves in the soil environment for structurally unstable soils is as follows - at the boundary with the cavity in the explosion of the charge of igdanite are achieved much higher values of hydrostatic pressure and maximum volumetric deformation than in the explosion of foamed explosives. This is due to the higher detonation characteristics of igdanite. In addition, at distances greater than 40 r0, the highest pressures and volumetric deformations are achieved during explosions of foamed explosives. Moreover, for the foamed explosive treated with ultrasonic radiation, the residual deformation is greater than in the explosion of conventional foamed explosives by 9–10%.

Research degree of compaction structurally unstable soils using blasting using overhead and counter-prone wells showed that the optimal angle wells is in the range of 20 to 30 °. Surface charges of providing sealing mass of soil to a depth of 2.0 m for igdanite and a depth of 3.0 m for explosives with low charge density at a power of 100 mm.

It has been experimentally established that foamed explosive compositions provide compaction of subsidence loess soils to a greater depth of the massif, which is 27–30 charge capacities in comparison with igdanite, which provides compaction to a depth of up to 20–25 charge capacities.

Due to the results obtained compression studies found that when adjusting the degree of compaction can provide the required performance characteristics of deformation for sustainability structurally unstable soils.

Devices for preparation of explosive compositions have been developed and proposed, in which mechanical mixing of surfactant solution and ammonium nitrate is carried out in low-speed mode without foaming the mixture, supplying this suspension under pressure to the blasting object and dosed aeration due to ejection of air issuing a foamed explosive composition to the site of application. This increases the safety of work, because the unfoamed mixture of surfactant solution and ammonium nitrate is not sensitive to impact and friction, and the explosive properties of this suspension are manifested only after saturation of the mixture with air bubbles at the exit of the foam suspension from the ejector.

Such devices allow the production of water-filled foamed explosive compositions of local preparation, both with pre-treated sonication of the speaker, and the suspension itself before the process of foaming. In addition, allow the use of additives dispersed component in the form of aluminum.

Keywords: ultrasonic radiation, holding capacity, foamed explosive composition, structurally unstable soil, degree of compaction, explosive pulse, pulse duration, pulse rise time, device for preparation of explosive compositions, detonation characteristics, peak pressure, detonation of near-surface, shallow-buried explosives, deformation pressure.

Ган Олена Валеріївна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАРЯДІВ СПІНЕНИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ СТРУКТУРНО-НЕСТІЙКОГО МАСИВУ

Спеціальність 05.15.09 – Геотехнічна і гірнича механіка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Перемоги, 37,
м. Київ, 03056

Підп. до друку 17.02.2021. Формат $60 \times 84^{1}/_{16}$. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,98. Наклад 100 пр.
Зам. № 21-017.

Видавництво «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
м. Київ, 03056
тел. (044) 204-81-78