

### ЗМІНА ПОРИСТОСТІ ТА УТРИМУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ АМІАЧНОЇ СЕЛІТРИ ПІД ВПЛИВОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОПРОМІНЕННЯ

**О. В. Ган**

Науково-дослідна лабораторія з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів  
Інститут гідромеханіки Національної академії наук України  
вул. Марії Капніст, 8/4, м. Київ, 02000, Україна. E-mail: gan\_elena@ukr.net

**А. Л. Ган, В. В. Вапнічна, Л. В. Шайдецька**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
вул. Борщагівська, 115/3, м. Київ, 03056, Україна.

Проведено дослідження щодо збільшення активної площі поверхні частинок (гранул) аміачної селітри (АС) під дією ультразвукового випромінювання. Проведено мікроскопічні дослідження як звичайних частинок (гранул) АС, так і оброблених ультразвуковим випромінюванням та встановлено відсотковий склад нереалізованої активної площі поверхні аміачної селітри. Експериментально отримано залежність утримуючої здатності АС від часу обробки її ультразвуком для щільної та пористої аміачної селітри. Встановлено, що вплив ультразвукових хвиль на гранули аміачної селітри супроводжується наступними ефектами: інтенсифікуються процеси переносу ваги, підвищується температура оброблюваного матеріалу, відбувається перерозподіл тиску за об'ємом пресування, він стає більш рівномірним через зниження пристінного тертя, а за рахунок руйнування внутрішніх перегородок в гранулах збільшується активна площа поверхні АС. Практичне значення полягає в обґрунтуванні технологічних способів керування параметрами вибухового імпульсу шляхом використання водонаповнених спінених вибухових речовин регульованої щільності, що забезпечує можливість підвищення корисного використання енергії вибуху для дотримання необхідного ступеня ущільнення просадних лесових ґрунтів на визначену глибину.

**Ключові слова:** аміачна селітра; пористість, утримуюча здатність, активна площа поверхні АС, спінена вибухова композиція, ультразвукове випромінювання.

### ИЗМЕНЕНИЕ ПОРИСТОСТИ И УДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Е. В. Ган**

Научно-исследовательская лаборатория по проблемам сейсмической безопасности технологических взрывов  
Институт гидромеханики НАН Украины  
ул. Марии Капнист, 8/4, Киев, 02000, Украина. E-mail: gan\_elena@ukr.net

**А. Л. Ган, В. В. Вапничная, Л. В. Шайдецька**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
ул. Борщаговская, 115/3, г. Киев, 03056, Украина.

Проведены исследования по увеличению активной площади поверхности частиц (гранул) аммиачной селитры (АС) под воздействием ультразвукового излучения. Проведены микроскопические исследования как обычных частиц (гранул) АС так и обработанных ультразвуковым излучением и установлен процентный состав нереализованной активной площади поверхности аммиачной селитры, а также улучшение удерживающей способности аммиачной селитры относительно жидкого топлива. Установлено, что влияние ультразвуковых волн на гранулы аммиачной селитры сопровождается следующими эффектами: интенсифицируются процессы переноса веса, повышается температура обрабатываемого материала, происходит перераспределение давления по объему прессования, он становится более равномерным из-за снижения пристенного трения, а за счет разрушения внутренних перегородок в гранулах увеличивается активная площадь поверхности АС. Практическое значение состоит в обосновании технологических способов управления параметрами взрывного импульса путем использования водонаполненных вспененных взрывчатых веществ регулируемой плотности, обеспечивает возможность повышения полезного использования энергии взрыва для соблюдения необходимой степени уплотнения просадочных лесовых ґрунтов на определенную глубину.

**Ключевые слова:** аммиачная селитра; пористость, удерживающая способность, активная площадь поверхности АС, вспененная взрывная композиция, ультразвуковое излучение.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** На сьогодні виробництво вибухових речовин (ВР) зосереджено на спеціальних підприємствах, що значно збільшує вартість внаслідок навантажувально-розвантажувальних робіт, транспортування і забезпечення безпеки при зберіганні і транспортуванні, збільшення часу між виробництвом та використанням вибухової речовини. Тому при ущільненні нестійких просадних ґрунтів у міських умовах і на гірничих підприємствах відкритого типу доцільно виготовляти ви-

бухові речовини безпосередньо на місцях проведення вибухових робіт. Їх прийнято називати вибуховими речовинами місцевого приготування.

Майже всі промислові ВР є сумішевими системами. Основу вибухових сумішей становлять базові речовини, які можуть бути вибуховими вже в початковому стані, як наприклад, в сумішах на основі тротилу, гексогену, октогену тощо або окислювачами, як це реалізовано в сумішах на основі аміачної селітри. Додаткові компоненти до основних речовин

в сумішевих системах виконують роль базових або додаткових горючих (окислювачів). Спінені вибухові композиції складаються з аміачної селітри, поверхнево-активних речовин (ПАР), води і можуть містити різні добавки [1]. Основною перевагою таких ВР є те, що механічне змішування розчину ПАР і аміачної селітри проводять в 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 прямооточною 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 місцевого приготування.

Актуальність даної теми полягає у забезпеченні фізичної стабільності спінених ВР, особливо у відкритих зарядах, за рахунок збільшення активної площі поверхні АС, а відповідно і утримуючої здатності шляхом ультразвукової обробки гранул (частинок) АС.

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* Практика використання безтритилових ВР на основі аміачної селітри має широке застосування як при видобутку корисних копалин [2], так і при ущільненні нестійких просадних лесових ґрунтів в умовах міської забудови [3]. Спінені вибухові композиції призначались для ведення робіт в гірничорудній промисловості в шпурових і накладних зарядах незначної площі при руйнуванні негабариту, видобутку штучного каменю та розмінуванні мінних полів.

В роботі [4] авторами було виявлено що при тривалій дії ультразвуку на АС починають руйнуватись самі гранули, що призводить до збільшення щільності самої АС, а відповідно, зменшення її активної поверхні. Для підвищення утримуючої здатності в роботі [5] автором була запропонована технологія термо-вакуум-імпульсного просочення аміачної селітри дизельним паливом, що збільшує утримуючу здатність АС різних марок за рахунок видалення повітря і водяного пару з дрібних капілярів, що призводить до збільшення питомої поверхні АС.

В роботі автори пропонують перед змішуванням аміачної селітри з дизельним паливом оброблювати гранули АС розчином ортофосфорної кислоти, що підвищує її пористість при подальшому нагріванні до 60–65°C з одночасним змішуванням гарячої АС з дизельним паливом, після чого суміш охолоджується. Значна кількість досліджень [6–8] присвячена виготовленню та вдосконаленню вибухових речовин, але вплив ультразвукового випромінювання на утримуючу здатність аміачної селітри розглянути недостатньо.

*Методи дослідження.* Мікроскопічні дослідження сколу гранул (частинок) аміачної селітри, експериментальні дослідження пористості та утримуючої здатності аміачної селітри під впливом ультразвуко-

вого випромінювання та аналіз відкритої, закритої та повної пористості АС.

Мета роботи – визначення впливу ультразвукового випромінювання на пористість та утримуючу здатність аміачної селітри.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Для обробки зразків АС в якості джерела акустичного випромінювання застосовувався ультразвуковий генератор типу УЗГ5-1,6/22.

Дослідження впливу ультразвукових (УЗ) хвиль на аміачну селітру проводилось наступним чином. Від ультразвукового генератора УЗГ5-1,6/22 до обмотки перетворювача підводиться дві напруги: постійна і змінна. Під дією постійної напруги через обмотку 8-ми пакетів протікає постійний струм поляризації. Перемінна напруга створює струм збудження. Таким чином, в двигуні створюються поздовжні механічні коливання. Ці коливання передаються на діафрагму, на якій розміщена ємність з водою, що містить в собі посудину зі зразком АС. Рівень води в ємності повинен співпадати або бути вище ніж рівень зразка АС в посудині (рис. 1). За рахунок процесу кавітації створюються умови для переходу зразка у високодисперсний стан з утворенням однорідної і хімічно чистої суміші. В процесі обробки зразків ультразвуковим випромінюванням суттєве значення має вибір оптимальної інтенсивності хвиль. При занадто малій інтенсивності для заданої частоти кавітаційні процеси можуть не розвиватися, а занадто висока інтенсивність може призвести до значного зростання розтягуючих зусиль максимального радіуса кавітаційної площини, що приводить до послаблення кавітаційних процесів. Поріг кавітації залежить від фізико-хімічних властивостей рідини і особливо від частоти ультразвуку.



Рисунок 1 – Загальний вигляд ультразвукового генератора типу УЗГ5-1,6/22 та дослідний зразок АС на діафрагмі з заповненою водою

Акустична кавітація є ефективним засобом перетворення енергії звукової хвилі низької щільності в енергію високої щільності, пов'язану з пульсаціями і утворенням кавітаційних бульбашок. У фазі розриву акустичної хвилі в рідині утворюються розриви у вигляді порожнин, які заповнюються насиченими парами цієї рідини. У фазі стиснення під дією підвищеного тиску і сил поверхневого напруження порожнини закриваються. Через стінки порожнин в

них проникає розчинений у рідині газ, який потім піддається сильному адіабатичному стисненню.

Для збудження кавітації у воді при 20 кГц потрібна інтенсивність звуку близько 1 Вт/см<sup>2</sup>, при 200 кГц – 10 Вт/см<sup>2</sup>, при 500 кГц – 200 Вт/см<sup>2</sup>, а при 3 мГц – 50 кВт/см<sup>2</sup> [9]. Обробка ультразвуковим випромінюванням зразків АС відбувалась при частоті 22±1,65 кГц з інтенсивністю звуку в межах від 0,5 Вт/см<sup>2</sup> до 4 Вт/см<sup>2</sup>.

Мікроскопічні дослідження зовнішньої та внутрішньої структури сколу гранул (частинок) аміачної селітри, як обробленої ультразвуковим випромінюванням, так і без, виконано в Інституті надтвердих матеріалів імені В. Н. Бакуля за допомогою мікроскопу типу 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.

Тіло гранул аміачної селітри (нітрат амонію) NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> являє собою полікристалічну структуру білого кольору, яка вміщує в собі 60 % кисню, 35 % азоту і 5 % водню [10].

Структура сколу гранул АС досліджувалась з глибиною проникнення 40 мкм (рис. 2) і 60 мкм (рис. 3) без обробки ультразвуковим випромінюванням. Загальний вигляд поверхні пор гранули АС, обробленої ультразвуковим випромінюванням наведено на рис. 4.

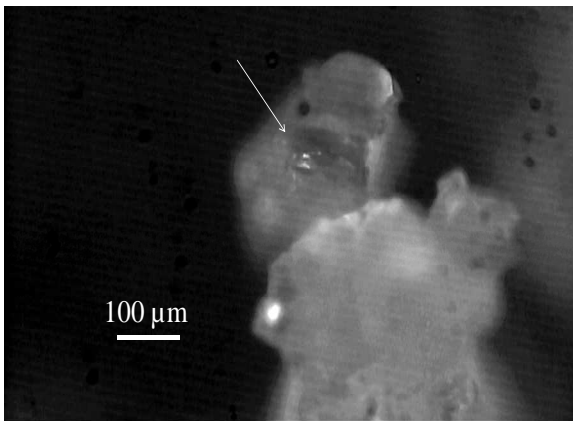


Рисунок 2 – Загальний вигляд поверхні пор гранульованої аміачної селітри глибиною 40 мкм

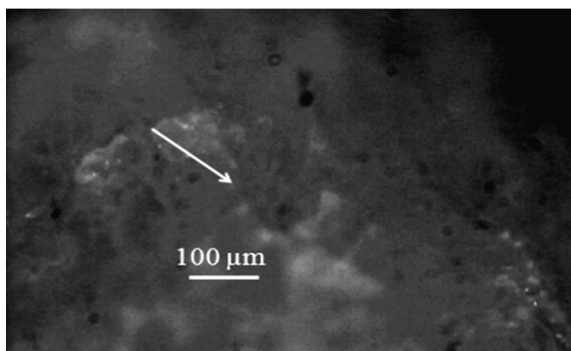


Рисунок 3 – Загальний вигляд поверхні пор гранульованої аміачної селітри глибиною 60 мкм

За даними спостережень під мікроскопом можна зробити висновок, що наявні на поверхні сколу гранули аміачної селітри пори знаходяться в межах від 3 % до 8 %. Проте ця частина поверхні існуючих пор гранули залишається не реалізованою, оскільки вона знаходиться в закритому вигляді.

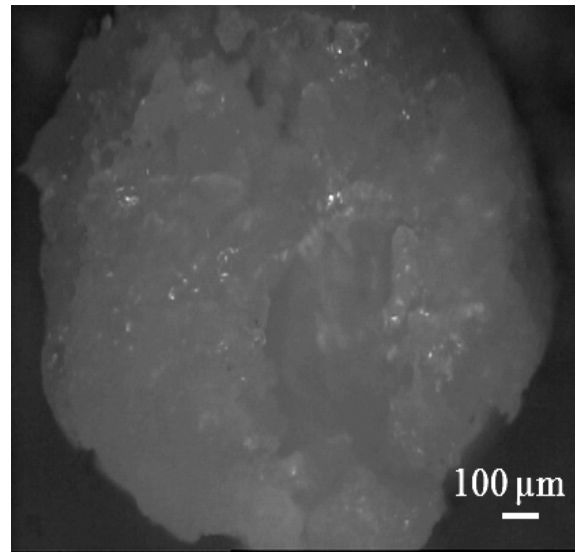


Рисунок 4 – Зображення сколу гранули аміачної селітри після ультразвукової обробки

Дещо інша картина спостерігається на сколі гранули, яка оброблена ультразвуковим випромінюванням. По перше – вона має гладку і блискучу поверхню, це обумовлене тим, що за рахунок впливу ультразвукових хвиль відбувається тертя між гранулами селітри, що в свою чергу сприяє відділенню слабо з'єднаних мікрочасток від гранули. По друге – екваторіальний скол гранули показує, що в ній наявний канал, тобто поверхня гранули має тріщинуватий характер, а це дозволить збільшити активну площу поверхні гранули за рахунок відкриття каналу до поверхні внутрішніх пор.

Оскільки активна поверхня площі гранул АС обробленої ультразвуковим випромінюванням залежить від відкритої і закритої пористості доцільно більш детально розглянути повну пористість АС.

При цьому можна виділити кілька категорій пористості:

- повна (або загальна) пористість;
- відкрита пористість (або пористість насичення);
- закрита (або ефективна) пористість.

Повна пористість аміачної селітри складається з відкритої пористості – це наявність пустот, укладених між зернами селітри, каверн і тріщин та закритої пористості – це замкнуті пори селітри. Коефіцієнт відкритої пористості можна визначити згідно з ГОСТ 33832. Кількісно пористість характеризується коефіцієнтом пористості, який являє собою відношення об'єму пор, тріщин, каверн і замкнутих пор до загального об'єму зразка селітри, і виражається в частках одиниці або відсотках.

Підготовка зразків для випробування була наступною: спочатку відбирались проби АС масою (70±5) грам методом квартування і засипались в ко-

нічні колби з герметичною пробкою. Ці колби нагрівались на водяній бані до температури + 50 °C та витримувались при даній температурі протягом 2 годин. Потім охолоджують ці колби, помістивши їх у водяну баню з температурою + 25 °C протягом 2 годин. При цьому спостерігали за рівнем води у водяній бані, який не повинен бути нижче рівня проби аміачної селітри. Після чого ці проби зберігались при температурі (20 ± 3) °C до проведення експерименту.

Експеримент проводився для двох незалежних випробувань протягом короткого проміжку часу на двох пробах. Послідовність виконання експерименту була наступною: спочатку видалили частинки гранул АС розміром менше ніж 0,5 мм за допомогою сита. Пробу вагою (50±1) грам помістили в скляну колбу. Потім в колбу наливали індустріальну оливу марки І-40А доки воно повністю не покриє гранули АС, обережно перемішували таким чином, щоб поверхня всіх гранул була повністю змочена. У накритій склом колбі зразок АС витримувався протягом 1 години при температурі (25 ± 2)°C. Після чого через воронку з ситом фільтрували зразок АС протягом 1 години для повного стікання надлишкової оливи. В наступному етапі для остаточного видалення надлишку оливи зразок АС рівномірно за допомогою м'якої плоскої кісточки поміщали на аркуш фільтрувального паперу розміром 500х500 мм. з попередньо загнутими зі всіх боків кінців приблизно на 40 мм. для запобігання скатування гранул АС, в середині якої розміщена всмоктуюча тканина. Через 2 хвилини гранули АС переміщали на фільтрувальний папір. Накривши зверху ще одним аркушем фільтрувального паперу катали гранули АС прикладавши незначне зусилля за рахунок 8 кругових рухів. Потім, піднімаючи протилежні краї паперу переміщують зразок АС до центру. Після проведення трьох таких операцій дослідний зразок обережно переміщують на чистий аркуш фільтрувального паперу і повторюють вище описану операцію. Одразу після катання гранули поміщали в попередньо зважену чашу і зважували з точністю до ± 0,01 гр.

Пористість аміачної селітри, обробленої ультразвуковим випромінюванням протягом 2, 4 та 6 хвилин з частотою 22±1,65 кГц визначали аналогічним чином.

Відкрита пористість аміачної селітри ( $X$ , %) як обробленої ультразвуковим випромінюванням, так і без, визначається за формулою:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (1)$$

де  $m_2$  – маса проби зразка після просіювання, яка дорівнює 50 г;  $m_1$  – маса проби після обробки, г.

Середнє арифметичне значення двох паралельних визначень визначається за формулою:

$$X_{cp} = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (2)$$

Закрита пористість аміачної селітри визначається за формулою:

$$m_{закр} = m_{повна} - X_{cp} \quad (3)$$

де  $m_{повна}$  – повна пористість, %,  $X_{cp}$  – відкрита пористість, %.

Визначити повну (абсолютну) пористість селітри можна методом Мельчера (вимірювання повної пористості). Даний метод заснований на тому, що маса проєкстрагованого і висушеного зразка є величина постійна як для гранульованої аміачної селітри, так і після її подрібнення.

Таким чином, повна пористість селітри може бути визначена, якщо відомі щільність зразка і щільність (скелету) частинок аміачної селітри.

Щільність гранульованої (щільної) селітри становить  $\rho_{обр} = 0,88$  г/см<sup>3</sup>, щільність (скелету) частинок аміачної селітри  $\rho_{те} = 1,725$  г/см<sup>3</sup>; для пористої селітри відповідно –  $\rho_{обр} = 0,75$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_{те} = 1,725$  г/см<sup>3</sup>.

Якщо виразити об'єм скелету (твердої частини) аміачної селітри через щільність, тоді повну пористість можна визначити:

- для гранульованої «щільної» АС:

$$m_{повна} = \frac{V_{зразка} - V_{те}}{V_{зразка}} = \left(1 - \frac{\rho_{зразка}}{\rho_{те}}\right)100\% = \left(1 - \frac{0,88}{1,725}\right)100 = 49\% \quad (4)$$

- для гранульованої «пористої» АС:

$$m_{повна} = \frac{V_{зразка} - V_{те}}{V_{зразка}} = \left(1 - \frac{\rho_{зразка}}{\rho_{те}}\right)100\% = \left(1 - \frac{0,75}{1,725}\right)100 = 56,5\% \quad (5)$$

де  $V_{зразка}$  – об'єм пор зразка;  $\rho_{зразка}$  і  $\rho_{те}$  – щільність зразка селітри і його твердої частини (скелету або зерен).

Результати визначень відкритої, закритої та повної пористості різних типів аміачної селітри як до, так і після обробки ультразвуковим випромінюванням наведено в табл. 1.

Наведені дані табл. 1 свідчать про те, що вплив ультразвукового випромінювання на пористість аміачної селітри носить наступний характер: при впливі ультразвуку на АС протягом 2 хвилин зменшується пористість на 0,4 % для щільної АС і 0,7 % для пористої АС, тобто відбувається ущільнення АС. При цьому відкрита пористість для щільної АС зменшується на 0,4 %, для пористої АС збільшується на 0,3 %, закрита пористість для щільної АС залишається практично незмінною, для пористої АС зменшується на 1 %. Обробка АС ультразвуком протягом 4 хвилин зменшується пористість на 0,7 % для щільної АС і на 1,1 % для пористої АС. Відкрита

пористість для щільної АС дещо збільшується, а закрита зменшується на 0,7 %. Для пористої АС відповідно: відкрита пористість збільшується на 0,6 %, а закрита зменшується на 1,7 %. Після 6 хвилинної обробки пористість для обох типів селітри залишається практично незмінною.

Таблиця 1 – Вплив ультразвукового випромінювання на категорії пористості аміачної селітри

Селітра	Повна пористість, %	Відкрита пористість, %	Закрита пористість, %
Гранульована (щільна) АС	49	7,575	41,425
Пориста АС	56,5	7,14	49,36
Гранульована (щільна) АС після ультразвукової обробки			
2 хв.	48,6	7,17	41,43
4 хв.	48,3	7,62	40,68
6 хв.	48,3	7,19	41,11
Пориста АС після ультразвукової обробки			
2 хв.	55,8	7,47	48,33
4 хв.	55,4	7,73	47,67
6 хв.	55,4	7,71	47,69

Аналіз наведених даних свідчить про те, що ущільнення щільної АС відбувається переважно за рахунок стиснення міжгранульного простору, а при ущільненні пористої АС спостерігається збільшення відкритої пористості і зменшення закритої за рахунок утворення каналів до внутрішніх пор гранул. Найбільший ефект перерозподілу відкритої і закритої пористості для обох типів АС спостерігається при обробці ультразвуковим випромінюванням протягом 4 хвилин.

Для підтвердження отриманих результатів визначено утримуючу здатність АС за допомогою статичного методу, який оснований на дії сил тяжіння.

Послідовність проведення дослідження наступна: спочатку пробу АС масою 100 г засипали в склянку ємністю 600 см<sup>3</sup>. ДП масою 20 г наливали в хімічний стакан і переносили в склянку з аміачною селітрою таким чином, щоб рідина рівномірно змочила всі гранули. Для цього аміачну селітру і дизельне паливо ретельно перемішували. Просочення гранул ДП тривала протягом 20 хв, після чого суміш розмішували на сито і не вбране в гранули дизельне паливо вільно стікало з сита протягом 1 доби.

Утримуюча здатність щільної та пористої аміачної селітри як у звичайному стані, так і після обробки ультразвуковим випромінюванням протягом 2, 4

та 6 хвилин з частотою 22±1,65 кГц досліджувалась за допомогою дизельного палива, яке відповідає сучасним стандартам якості та вимогам екологічного стандарту Євро 5.

Середня маса аміачної селітри з утриманим ДП визначається за формулою:

$$m_{\text{сеп}} = \frac{m_1 + m_2}{2}, \quad (6)$$

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

Утримуюча здатність аміачної селітри визначається за формулою:

$$X = \frac{m_{\text{сеп}} - m}{m_{\text{сеп}}} \cdot 100, \quad (7)$$

де  $m$  – маса проби аміачної селітри.

За результатами експериментальних досліджень було побудовано залежності утримуючої здатності АС від часу її обробки ультразвуком відносно дизельного палива (рис. 5).

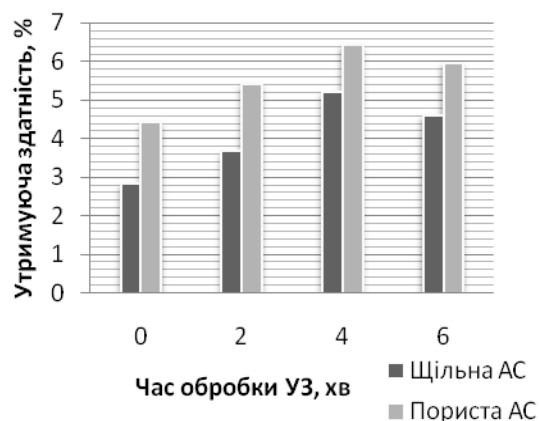


Рисунок 5 – Аналіз впливу ультразвукової обробки на утримуючу здатність щільної та пористої АС відносно ДП

Утримуюча здатність щільної та пористої аміачної селітри має досить низькі показники, що становлять: для щільної АС – 2,84 %, для пористої АС – 4,416 %. Після ультразвукової обробки значення утримуючої здатності становлять: для щільної АС після 2 хвилин обробки – 3,66 % (більше на 28,8 %, порівняно з початковою), після 4 хвилин – 5,2 % (тобто зростає на 83,1 %) та після 6 хвилин – 4,6 % (більше на 62 %); для пористої АС утримуюча здатність після обробки її протягом 2, 4, 6 хвилин становить відповідно: 5,415 %, 6,424 %, 5,944 % (утримуюча здатність збільшилася на 22,62 %, 45,5 %, 34,6 % відповідно)

Аналіз експериментальних досліджень свідчить про те, що ультразвукове випромінювання аміачної селітри дозволяє суттєво збільшити її утримуючу здатність за рахунок збільшення активної площі поверхні, яке виникає за рахунок перерозподілу від-

критої і закритої пористості як для щільної так і пористої АС, внаслідок утворення каналів до внутрішніх пор гранул. 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 понад 4 хвилин 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.

Отже, вплив ультразвукових хвиль на гранули аміачної селітри супроводжується наступними ефектами: інтенсифікуються процеси переносу ваги, підвищується температура оброблюваного матеріалу, відбувається перерозподіл тиску за об'ємом пресування, він стає більш рівномірним через зниження пристінного тертя, а за рахунок руйнування внутрішніх перегородок в гранулах збільшується активна площа поверхні АС.

ВИСНОВКИ. 1. Гранули АС без дизельного палива, оброблені УЗ хвилями, на поверхні мають гладку поверхню, що обумовлене тим, що за рахунок тертя між гранулами селітри відбувається відділення часток від гранул, які слабко з'єднані з гранулою, а наявність каналу на екваторіальному сколі гранули свідчить про збільшення активної площі поверхні гранули за рахунок внутрішніх пор.

2. Під впливом ультразвукового випромінювання відбувається ущільнення АС, причому ущільнення щільної АС відбувається переважно за рахунок стищення міжгранульного простору, а при ущільненні пористої АС спостерігається збільшення відкритої пористості і зменшення закритої за рахунок утворення каналів до внутрішніх пор гранул. Найбільший ефект перерозподілу відкритої і закритої пористості для обох типів АС спостерігається при обробці ультразвуковим випромінюванням протягом 4 хвилин. Відкрита пористість для щільної АС дещо збільшується, а закрита зменшується на 0,7%. Для пористої АС відповідно: відкрита пористість збільшується на 0,6%, а закрита зменшується на 1,7%. Загальна пористість зменшується на 0,7% для щільної АС і на 1,1% для пористої АС.

3. Також при обробці АС ультразвуковим випромінюванням протягом 4 хвилин спостерігається найбільша утримуюча здатність як щільної так і пористої аміачної селітри, яка становить 5,2 % для щільної АС і 6,424 % для пористої АС, яка більша за необроблену АС відповідно на 83,1 % для щільної АС і на 45,5 % 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.

4. Вплив ультразвукових хвиль на гранули аміачної селітри супроводжується наступними ефектами: інтенсифікуються процеси переносу ваги, підвищується температура оброблюваного матеріалу, відбувається перерозподіл тиску за об'ємом пресування, він стає більш рівномірним через зниження пристінного тертя, а за рахунок руйнування внутрішніх перегородок в гранулах збільшується активна площа поверхні АС.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко В. В., Ган О. В., Кравець В. Г., Ган А. Л., Вапнічна В. В. Зміна пористості та утримуючої здатності аміачної селітри під впливом ультразвукового опромінення. *Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики: матеріали II міжнародна наук.-тех. конф.* (м. Київ, травень 2019).

2. Бойко В. В., Кузьменко А. О., Чала О. М., Хлевнюк Т. В., Хлевнюк Д. В. Дія вибуху розосередженого заряду в скельних ґрунтах. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* Житомир, 2017. Вип. № 1 (79). С. 153–159.

DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2017-1\(79\)-153-159](https://doi.org/10.26642/tn-2017-1(79)-153-159)

3. Бойко В. В., Ган А. Л., Ган О. В. Ущільнення просадкових ґрунтів вдосконаленими зарядами малої щільності. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету.* Дніпро, 2018. № 55. С. 152–161.

URL: <http://znp.nmu.org.ua/pdf/2018/55/17.pdf>

4. Ган А. Л., Вапнічна В. В., Васильчук О. С. Вплив ультразвукового опромінення на утримуючу здатність аміачної селітри. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки.* Житомир, 2018. Вип. № 2 (80). С. 181–188. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2018-1\(81\)-217-222](https://doi.org/10.26642/tn-2018-1(81)-217-222)

5. Игнатъева С. Ю., Базотов В. Я., Мадякин В. Ф. и др. Изучение удерживающей способности аммиачной селитрой дизельного топлива. *Вестник технологического университета.* Казань, 2016. № 5. С. 52–55.

6. Закусило Р. В., Кравець В. Г., Коробійчук В. В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія. Житомир: ЖДТУ, 2011. 212 с.

7. Кравець В.Г., Коробійчук В.В., Бойко В.В. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху: монографія / Житомир: ЖДТУ, 2015. 408 с.

8. Кравець В. Г., Ган А. Л., А. Воеводка, Желтоножка А. А. Вибір енергетично оптимальних рецептур вибухових сумішей на основі утилізованих вибухових речовин. *Вісник НТУУ «КПІ», Серія «Гірництво».* Київ, 2008. Вип. 16. С. 48–3.

9. Сілін Р. І., Гордєєв А. І. Вібраційне обладнання для кавітаційно-магнітної обробки води. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні.* Львів, 2009. Вип. 43. С. 33–45.

10. Ковтун Ю. В. Анфо и Игданиты–без знака равенства. *Взрывное дело.* Люберцы, 2012. Вип. № 107(64). С. 168–177.

**CHANGE IN THE POROSITY AND DETENTION ABILITY OF AMMONIUM NITRATE  
UNDER THE INFLUENCE OF ULTRASONIC IRRADIATION**

**O. V. Han**

Research Laboratory for the Seismic Safety of Technological Explosions  
Institute of Hydromechanics NAS of Ukraine,  
st Mary Kapnist, 8/4, Kyiv, 02000, Ukraine. Email: gan\_elena@ukr.net

**A. L. Han, V. V. Vapnichna, L. V. Shaidetska**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»  
st. Borshchagivska, 115/3, Kyiv, 03056, Ukraine.

**Purpose.** The aim of the article is to increase in the active surface area of particles (granules) of ammonium nitrate (AN) under the influence of ultrasonic radiation. **Methodology.** Microscopic studies of both conventional AN particles and granules treated with ultrasonic radiation were carried out and the percentage of the unrealized active surface area of ammonium nitrate was established, as well as the improvement in the retention capacity of ammonium nitrate relative to liquid fuel. The dependence of the retention ability AN on the time of processing it with ultrasound for dense and porous ammonium nitrate was experimentally obtained. **Results.** It has been established that when ultrasonic radiation acts on ammonium nitrate for 4 minutes, its maximum retention capacity is observed. This is due to the fact that as a result of the action of ultrasound, the internal partitions in the granules (particles) AN are destroyed and part of the closed porosity becomes open. Due to this, the active surface area is increased for lubrication which requires a larger amount of the liquid component. And this in turn leads to an increase in the holding capacity of AN. **Originality.** It was established that the influence of ultrasonic waves on granules of ammonium nitrate is accompanied by the following effects: the processes of weight transfer are intensified, the temperature of the processed material is increased, pressure is redistributed over the pressing volume, it becomes more uniform due to a decrease in wall friction, and due to the destruction of internal partitions in granules the active surface area AN increases. **Practical value.** The practical significance lies in the justification of technological methods for controlling the parameters of an explosive pulse by using water-filled foamed explosives of controlled density, which makes it possible to increase the useful use of explosive energy to comply with the required degree of compaction of subsidence loess soils at a given depth. We have obtained technological methods for controlling the parameters of the explosive pulse by using water-filled foamed explosives of controlled density, which makes it possible to increase the useful use of the energy of the explosion to comply with the required degree of compaction of subsidence loess soils to a certain depth.

**Key words:** ammonium nitrate; porosity, holding capacity, active surface area AN, foamed explosive composition, ultrasonic radiation.

REFERENCES

1. Boiko, V.V., Han, O.V., Kravets, V.H., Han, A.L. and Vapnichna, V.V. (2019), "Zmina porystosti ta utrymuiuchoi zdatnosti amiachnoi selitry pid vplyvom ultrazvukovoho oprominennia", *Problemy heoinzhenerii ta pidzemnoi urbanistyky: materialy II mizhnarodna nauk.-tekh. konf. Kyiv, May 29-31, 2019*, URL: <https://geobud.kpi.ua/conference/problemygeoinzhenerii2/772>
2. Bojko, V.V., Kuz'menko, A.O., Chala, O.M., Hlevnjuk, T.V., Hlevnjuk, D.V. (2013), "Dija vybuhu rozoseredzhenogo zarjadu v skel'nyh g'runtah", *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu, Serija Tehnichni nauky*, No. 1 (79), Zhytomyr, pp. 153–159. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2017-1\(79\)-153-159](https://doi.org/10.26642/tn-2017-1(79)-153-159)
3. Bojko, V.V., Han, A.L., Han, O.V. (2018), "Compaction drawdown soil improved low density charge", *Zbirnyk naukovykh prats Nationalnogo girnichogo universytetu*, No. 55, pp. 152–161.
4. Han, A.L., Vapnichna, V.V., Vasilchuk, O.S. (2018), "Vplyv ultrazvukovoho oprominennia na utrymuyuchu zdatnist amiachnoy selitry", *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu, Serija Tehnichni nauky*, No. 2 (80), pp. 181–188. DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2018-1\(81\)-217-222](https://doi.org/10.26642/tn-2018-1(81)-217-222)
5. Ignat'eva, S.Ju., Bazotov, V.Ja., Madjakin, V.F. (2016), "Izuchenie uderzhivajushhej sposobnosti ammiachnoj selitroj dizel'nogo topliva", *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*, No. 5, pp. 52–55.
6. Zakusylo, R.V., Kravets, V.G., Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasoby inicijuvannja promyslovyh zarjadiv vybuhovyh rehovyn*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
7. Kravets, V.G., Korobijchuk, V.V., Bojko, V.V. (2015), *Fizychni procesy prykladnoi' geodynamiky vybuhu*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 408 p.
8. Kravets, V.H., Han, A.L., Voievodka, A., Zheltonozhko, A.A. (2008) "Vybir enerhetychno optymalnykh retseptur vybukhovykh sumishei na osnovi utylizovanykh vybukhovykh rehovyn", *Visnyk NTUU «KPI», Serija «Hirnystvo»*, No. 16 pp. 48-53.
9. Silin R.I., Horleev A.I. (2009), "Vibratsijne obladnennia dlja kavitatsijno-magnitnoj obrobky vody", *Industrial Process Automation in Engineering and Instrumentation*, No. 43. pp. 33-45 URL: [http://vlp.com.ua/files/04\\_61.pdf](http://vlp.com.ua/files/04_61.pdf)
10. Kovtun, I.V. (2012), "ANFO I Igdanity – bez znaka ravenstva", *Vzryvnoe delo*, No. 107/64, pp. 168-180.

Стаття надійшла 27.11.2019.