

# Вибух газової суміші як засіб генерування імпульсних збурень

*В.О. Поляковський, 2021*

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

Надійшла 22 квітня 2021 р.

У статті розглянуто розробку пристрою для генерування імпульсних збурень у ґрунтових масивах. Як джерело імпульсних збурень запропоновано використовувати енергію вибуху ацетиленово-кисневої газової суміші, що знаходиться під високим тиском. На основі стандартної методики вимірювання механічних напружень з використанням п'єзоелектричних датчиків отримано поля напружень у ґрунті, які виникають за дії вибуху газової суміші. Встановлено, що залежності максимальних напружень у ґрунтового масиві від наведеної відстані до джерела під час дії газових зарядів, що знаходяться під високим тиском, є степеневими функціями. Отримано коефіцієнти степеневих функцій, якими апроксимуються ці експериментальні залежності. Порівняння згасань максимальних радіальних напружень з відстанню, отриманих за дії вибухів газового заряду низького тиску і заряду, заповненого газовою сумішшю під високим тиском, вказує на їх подібність. Проведено аналіз сучасних методів використання вибухових і невибухових джерел для генерування сейсмічних хвиль під час досліджень у пошуковій геофізиці. Детально проаналізовано існуючі на сьогодні конструктивні джерела сейсмічних хвиль, що використовуються у сейсмозв'язці. Вказано на недоліки та переваги вибухових та невибухових імпульсних джерел сейсмічних хвиль. Одними з переваг запропонованих джерел хвиль є їх низька вартість і мобільність. Для роботи з такими джерелами немає потреби в отриманні спеціальних дозволів на їх використання. Отримані результати дають змогу розширити сферу застосування газової детонації, зокрема, використовувати її як альтернативне джерело сейсмічних хвиль. Запропонований спосіб є перспективним для застосування у пошуковій геофізиці та під час досліджень властивостей ґрунтових масивів.

**Ключові слова:** вибухові речовини, газова детонація, вибух, детонаційна хвиля, газодинамічні методи, імпульсне невибухове джерело, сейсмозв'язка, сейсмічні хвилі.

**Вступ.** Нині кероване використання енергії вибуху стало основою багатьох технологій у галузях будівництва, машинобудування, проведення земляних робіт, видобування мінеральних ресурсів, сейсмозв'язки, реалізації сейсмобезпекових заходів та ін. Зокрема, в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України розроблено та впроваджено секційні вибухові пристрої для відновлення нафтових і газових свердловин на основі твердих вибухових речовин (ВР) [Пат. 103516 ..., 2015]. Розроблено також нову технологію обробки свердло-

вин, що ґрунтується на вибуху суміші газів [Пат. 113305 ..., 2017; Пат. 126733 ..., 2018, Пат. 134374 ..., 2019; Пат. 136848 ..., 2019]. Залежно від концентрацій та типу робочих газів технологію можна використовувати для відновлення як нафтових, так і водозабірних свердловин. Випробовування розробленого методу показало високі результати під час відновлення дебіту промислових свердловин на водоканалах Київської області.

Нині детонацію газових сумішей широко застосовують у народному господарстві. У публікаціях [Харламов, Будагянц, 1998;

Харламов, 2017; Фролов, 2008; Николаев и др., 2003] розглянуто особливості газової детонації як джерела енергії, систематизовано та проаналізовано основні сфери практичного її застосування в промисловості, на транспорті та в енергетиці. Запропоновано [Какенов, 2012] використовувати заряди на основі пропаново-кисневої суміші для ущільнення пухких ґрунтів з метою проведення на них будівельних робіт.

Аналіз хвильових полів, що виникають від вибуху газових сумішей, вказує на можливість розширити застосування цього джерела енергії, зокрема в сейсморозвідці для генерування сейсмічних хвиль. Під час проведення сейсморозвідувальних робіт часто використовують вибух твердих ВР, що потребує отримання спеціальних дозволів для їх використання; до того ж у багатьох регіонах використання таких ВР повністю заборонено. Отже, пошук заміників для твердих ВР і розробка методики щодо їх застосування є актуальним та перспективним напрямом досліджень.

Для генерування сейсмічних хвиль при проведенні геофізичних досліджень використовують вибухові, невибухові та газоімпульсні методи. Суть вибухових методів полягає у формуванні сейсмічної хвилі в результаті підриву заряду твердої ВР. У процесі вибуху утворюється ударна хвиля, яка згодом трансформується у сейсмічну хвилю. Метод генерування сейсмічних хвиль за допомогою вибуху заряду ВР у свердловині або на поверхні ґрунту, який традиційно застосовували під час сейсморозвідувальних робіт, має низку недоліків: вибуховий спосіб завдає значної шкоди природі, його не можна використовувати в місцях поселень, поблизу мостів, ліній електропередачі, залізниць та ін. Тому для сейсморозвідувальних робіт почали розробляти альтернативні методи створення сейсмічних хвиль, що виключають використання ВР. Такими невибуховими методами, які широко використовують під час проведення геофізичних досліджень, є вібраційні [Шнеерсон и др., 1992; Пат. 2199660 ..., 2003; Пат. 2377603 ..., 2009; Пат. 2457511 ..., 2012; Ивашин и др., 2013; Пат. 2485551 ..., 2013; Обрубов, 2016]

та газодинамічні [Пат. 60392 ..., 1978, Хмелевской и др., 2004]. У невибухових методах джерелом сейсмічних хвиль є жорстка масивна плита, розташована на поверхні ґрунту, яка генерує хвилі внаслідок дії на неї сили приводом сейсмоджерела. Залежно від характеру зміни сили, що прикладається до плити, і створюваних при цьому деформацій ґрунту невибухові поверхневі сейсмоджерела прийнято поділяти на три типи: вібраційні, імпульсні та віброімпульсні [Шнеерсон и др., 1992]. Сьогодні частіше застосовують потужні електрогідравлічні вібратори, електромагнітні та електродинамічні імпульсні джерела сейсмічних коливань [Пат. 2457511 ..., 2012; Ивашин и др., 2013; Обрубов, 2016]. Такі пристрої мають високі показники повторюваності випромінювання коливань, високий ККД перетворення електричної енергії в акустичну, екологічно безпечні. Основним недоліком подібних сейсмоджерел, що створює обмеженість їх експлуатації, є складність конструкції пристрою, а отже, висока собівартість. Крім того, такі джерела мають значні габаритні розміри та масу через наявність так званого «привантажу», і це обмежує їх використання у важкодоступних місцях. Використання переносних електродинамічних джерел [Ивашин и др., 2013] обмежується вивченням верхньої частини земної товщі, сейсморозвідкою на акваторіях і в межах транзитних зон.

Серед імпульсних джерел сейсмічних хвиль дедалі більшого поширення набувають газодинамічні методи на основі детонації газових сумішей. В газодинамічних сейсмічних джерелах вибухова суміш заповнює циліндр з рухомою нижньою стінкою — поршнем або діафрагмою. Такий циліндр притискають до поверхні, на якій змонтовано джерело, автомобілем, після чого газ підпалюють — відбувається його швидкоплинне згорання, за якого об'єм газу різко зростає. Газ різко тисне на поршень або мембрану; оскільки рух циліндра вгору ускладнений інертною масою автомобіля, цей тиск передається в ґрунт [Пат. 60392 ..., 1978; Хмелевской и др., 2004]. Для створення імпульсних сейсмічних сигналів, що багаторазово повторюються, розроблено спеці-

альний пристрій [Пат. 2199660 ..., 2003]. Робота пристрою полягає у тому, що газоподібні вибухові суміші закачують у ділянку свердловини, обмежену пакером, після чого її підривають за допомогою електродетонатора або високовольтного джерела струму. При цьому формується ударна хвиля, яка є джерелом сейсмічних хвиль. При поширенні детонаційної хвилі уздовж ділянки свердловини, заповненої газоповітряною сумішшю, у масив гірської породи випромінюються, переважно, поперечні сейсмічні хвилі. Недоліком такого методу є те, що для отримання потужних сейсмічних хвиль необхідно закачувати значні об'єми газів. Крім того, виникають складнощі в процесі ініціювання детонації суміші.

Для отримання потужніших точкових джерел сейсмічних хвиль можна використати ініціювання зарядів із суміші газів, що містяться в оболонці під високим тиском. Такі пристрої здатні формувати як одиночні імпульси, так і серію імпульсів, частоту яких можна регулювати на земній поверхні. Крім того, немає потреби у використанні високовольтних ініціаторів вибуху на великих глибинах, що пов'язане з деякими ускладненнями. Такий метод дасть можливість отримувати стабільніші вибухові імпульси.

*Мета роботи* — розробка альтернативних джерел енергії на основі вибуху газових сумішей та методики їх безпечного використання, зокрема в геофізичних дослідженнях ґрунтових товщ.

**Методика проведення експериментального дослідження.** Для реалізації описаних вище пристроїв можна використати ацетиленово-кисневу суміш. Ацетилен — єдиний газ, що належить до небагатьох речовин, горіння і вибух яких можливі за відсутності кисню або інших окиснювачів. Ацетилен є високоекзотермічною сполукою: при розкладанні 1 кг ацетилену виділяється більш як 2000 ккал тепла, тобто приблизно в 2 рази більше, ніж при вибуху 1 кг твердої ВР — тротилу. Найнебезпечнішими є суміші ацетилену з киснем стехіометричного складу (~ 30 % ацетилену). Швидкість детонації досягає максимального значення

за співвідношення ацетилену і кисню 1 : 2,5 і дорівнює 2400 м/с за нормальних умов. Тиск у продуктах при згоранні ацетилену залежить від початкових параметрів і характеру вибуху та істотно зростає при детонації ацетиленово-кисневої суміші. Межа вибухоспроможності суміші ацетилену з киснем варіює від 2,5 % загального об'єму суміші до 100 %. Перевагою використання ацетиленово-кисневої суміші є те, що вибух можна ініціювати без високовольтного джерела струму.

Конструкцію імпульсного джерела хвиль, виготовленого на основі пластикового балона, показано на рис. 1. Цей пристрій складається з циліндричного металевого корпусу, на плоских поверхнях якого за допомогою різьбових з'єднань встановлено ініціатор детонації та кріплення до балона.

На боковій стінці корпусу встановлений золотниковий кран для заправлення газом. Перевагою золотникового крану над шаровим є низька ціна та надійність. Крім того, він витримує високі тиски і в разі пошкодження може бути відновлений заміною золотника. В середині корпусу знаходиться камера для створення початкового імпульсу підривання суміші. В експеримен-

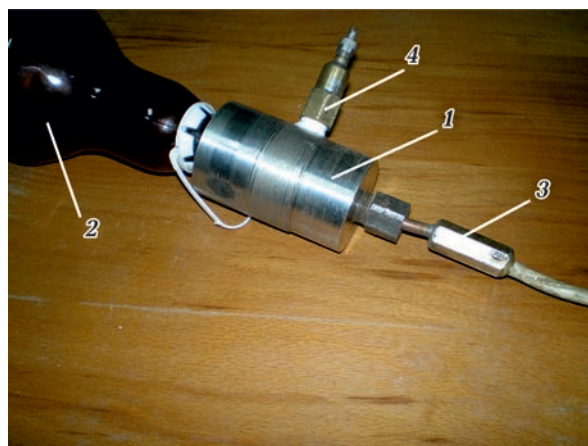


Рис. 1. Імпульсне джерело на основі газової детонації: 1 — корпус, 2 — балон, 3 — ініціатор детонації, 4 — золотниковий кран для заправки.

Fig. 1. The impulsive source based on gas detonation: 1 — body, 2 — balloon, 3 — detonation initiator, 4 — screw-down tap for refueling.

тах як камеру для газової суміші використовували пластикові балони місткістю 1 та 2 дм<sup>3</sup>, з'єднані з корпусом пристрою. Експериментально встановлено, що такі балони витримують тиск не менш ніж 14 атм. Як робочі гази використовували ацетиленово-кисневу суміш, закачану в балон під тиском. Зазначимо, що спочатку закачували ацетилен під тиском 1,5 атм, а потім додавали кисень під тиском 13,5 атм. Ацетилен отримували в результаті реакції карбиду кальцію та води. Це пов'язане з тим, що для транспортування та зберігання балонів з чистим ацетиленом необхідно дотримуватись підвищених заходів безпеки. Недоліком такого способу отримання ацетилену є те, що в результаті взаємодії карбиду кальцію та води крім ацетилену утворюється невелика кількість сірководню, що, очевидно, дещо знижує активність ацетилену. Для вилучення ацетилену з карбиду кальцію розроблено та виготовлено ацетиленовий генератор, що дало змогу генерувати ацетилен в камері під тиском до 30 атм.

При проведенні експериментальних досліджень хвильових полів у пористих середовищах, викликаних вибуховою дією, виникає низка проблем. Передусім це відсутність стандартного устаткування для вимірювання механічних напружень у пористих середовищах (грунтах). Сьогодні експериментатори найчастіше використовують п'єзоелектричні перетворювачі напруження. Датчики, виготовлені на основі п'єзокристалів, мають високий рівень вихідного сигналу, лінійну вихідну характеристику, здатність витримувати великі навантаження. Крім того, п'єзодатчики мають невеликі розміри, що дає змогу отримувати неспотворену інформацію про процес, що реєструється.

При розробці та виготовленні п'єзоелектричних датчиків напружень найчастіше використовують синтетичні п'єзоматеріали, а саме цирконат титанату барію, цирконат титанату свинцю та ін. Такі матеріали мають високі значення п'єзомодуля порівняно з природними п'єзоматеріалами — кварцем і турмаліном. Основним недоліком п'єзоелектричних перетворювачів є наявність

чутливості до дії в площині, перпендикулярній до вимірювального напрямку.

Для експериментальних досліджень виготовлено п'єзодатчики напружень з чутливим елементом із кристалів титанату барію діаметром 6 мм і завтовшки 0,5 мм (рис. 2). Власна резонансна частота становить 320 кГц, чутливість —  $(2-5) \cdot 10^4$  пКл/МПа, діапазон реєстрованих частот 1,0—100 тис. Гц.

Калібрування датчиків проводилось миттєвим розвантаженням їх за допомогою калібрувальної балки. В діапазоні напружень до 16,0 МПа п'єзодатчики мають лінійну характеристику. Сигнали з датчиків надходять на підсилювач заряду «Найва-2к» і далі на числові осцилографи Pс-Lab 2000SE. Інформація з пам'яті осцилографів оброблюється програмними засобами.

**Результати експерименту.** Хвильові поля під час детонації газової суміші досліджували у супіщаних ґрунтах непорушеної структури. Вологість ґрунту становила 18%. При цьому вимірювали радіальні напруження. На підготовленому майданчику за допомогою ручного бура пробурювали в ґрунті шпур завглибшки 1,15 м. При цьому центр газового заряду знаходився на глибині 1 м. Датчики напружень встановлювали на різних відстанях від заряду на лінії, що проходила через його середину паралельно земній поверхні. Відстань між датчиками та

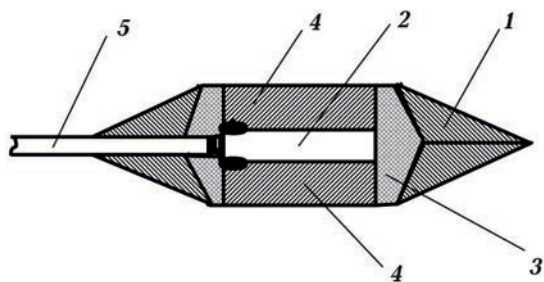


Рис. 2. Конструкція п'єзодатчика для вимірювання напружень: 1 — корпус, 2 — п'єзоелемент, 3 — демпфер-кільце, 4 — епоксидний клей, 5 — сигнальний кабель.

Fig. 2. The structure of piezoelectric sensor for voltage measurement: 1 — body, 2 — piezoelectric element, 3 — damper ring, 4 — epoxy glue, 5 — signal cable.

центром заряду були нормовані радіусом заряду. Оскільки при закачуванні газової суміші балон розширювався, об'єм газового заряду визначали за об'ємом витісненої рідини. Датчики встановлювали у спеціально підготовлених шпурах з подальшим заповненням шпурового простору над датчиками ґрунтом. Вибух ініціювали нагріванням тонкого дроту низьковольтною напругою, що спричиняло детонування газової суміші. Встановленими в ґрунті датчиками вимірювали радіальні напруження. Характерні осцилограми напружень, отримані під час підривання ацетиленово-кисневого заряду об'ємом  $2,3 \text{ дм}^3$  ( $P_{\text{ац}} = 1,5 \text{ атм}$ ,  $P_{\text{ок}} = 12 \text{ атм}$ ), показано на рис. 3. Як бачимо з осцилограм, у ближній зоні вибуху спостерігається крутий передній фронт ударної хвилі з тривалістю  $\tau_{\text{ф}} \sim 0,15 \text{ мс}$ . З віддаленням від заряду ширина фронту хвилі дедалі збільшується, і згодом хвиля набуває більш гладкої форми.

На рис. 4 показано механічну дію вибуху досліджуваного газового заряду. В результаті вибуху утворилась конусоподібна воронка, діаметр якої по верху збільшився від  $0,15$  до  $0,5 \text{ м}$ . Навколо неї утворився насип ґрунту заввишки  $0,08$ — $0,1 \text{ м}$ .

Слід зауважити, що ідею використання газової детонації як альтернативного імпульс-

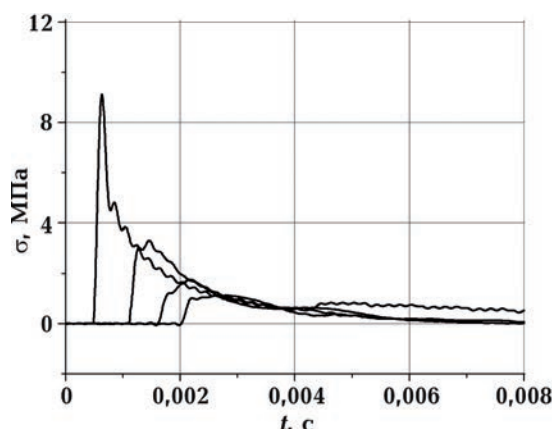


Рис. 3. Характерні осцилограми напружень, отримані під час підривання ацетиленово-кисневого заряду об'ємом  $2,3 \text{ дм}^3$ .

Fig. 3. Typical stress oscillograms obtained by detonating an acetylene-oxygen charge of the volume of  $2.3 \text{ dm}^3$ .



Рис. 4. Воронка, що утворилась унаслідок вибуху імпульсного джерела на основі газової детонації.

Fig. 4. The depression formed due to the explosion of an impulsive source based on gas detonation.

ного джерела енергії обговорено у монографії [Какенов, 2012]. У ній наведено результати дослідження дії імпульсних джерел на основі пропаново-кисневої суміші для ущільнення ґрунтів. Суть дослідження полягала у тому, що у приповерхневій зоні ґрунту бурили неглибоку свердловину діаметром  $0,5 \text{ м}$  та глибиною  $1,4 \text{ м}$ , яку зверху накривали масивною металевою плитою. Свердловину заповнювали стехіометричною сумішшю пропану та кисню, після чого її підривали за допомогою електродетонатора. При цьому вимірювали напруження, що виникали у навколосвердловинному просторі. Як результат, були отримані залежності максимальних радіальних напружень від відстані до заряду для вибуху газоімпульсного джерела в ґрунтах з різними фізико-механічними властивостями. Ці залежності добре апроксимуються степеневими функціями. З ана-

лізу обробки експериментальних даних автором отримано формулу для визначення напружень у ґрунті залежно від наведеної відстані до газового заряду, яка має такий вигляд [Какенов, 2012]:

$$\sigma = K (R^0)^{-\mu}, \quad (1)$$

де  $R^0 = R/r_3$  — наведена відстань до заряду;  $r_3$  — радіус газового заряду;  $K$  і  $\mu$  — експериментальні коефіцієнти. Для пропаново-кисневого заряду в суглинку вологістю 20% ці коефіцієнти мали такі значення:  $K = 1,61$  МПа;  $\mu = 1,32$ .

Порівняємо залежність максимальних радіальних напружень від відстані до заряду, отриману автором монографії [Какенов, 2012], за дії вибуху газового заряду низького тиску з аналогічною залежністю для заряду газової суміші з високим тиском. Ці залежності показано на рис. 5.

Бачимо, що згасання напружень у ґрунтовому масиві під час підірвання зарядів, що зазнають високого тиску, також задовільно описуються степеневою залежністю (1). При цьому експериментально отримані коефіцієнти мають такі значення:  $K = 9,2$  МПа і  $\mu = 1,51$ . Незважаючи на значні відмінності в розмірах газових зарядів, у ближній зоні вибуху напруження в ґрунті за дії газового заряду під тиском в оболонці майже в 6 разів перевищують значення напружень, отриманих за дії пропаново-кисневої суміші в умовах низького тиску. Збільшивши об'єм газового заряду й концентрацію суміші газів та підібравши матеріал оболонки, отримаємо потужний газовий заряд, який можна успішно використовувати як альтернативне невибухове джерело сейсмічних хвиль під час проведення геофізичних досліджень.

**Висновки.** Описано нове джерело для генерування ударних хвиль на основі ви-

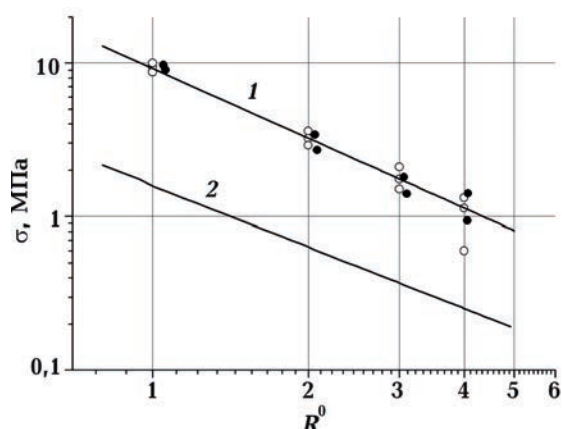


Рис. 5. Залежності максимальних напружень у ґрунті від приведеної відстані до газового заряду в логарифмічних координатах: 1 — за дії ацетиленово-кисневої суміші в оболонці під високим тиском: ● — об'єм заряду 1,3 дм³; ○ — об'єм заряду 1 дм³; 2 — під час дії пропаново-кисневої суміші, що зазнавала низького тиску.

Fig. 5. Dependences of maximal stresses in the soil on the relative distance to the gas charge in logarithmic coordinates: 1 — under the action of acetylene-oxygen mixture in the shell under high pressure: ● — stand for the charge volume 1.3 dm³; ○ — relate to the charge volume 1 dm³; 2 — under the action of propane-oxygen mixture placed at low pressure.

користання енергії вибуху газової суміші. Перевагами такого джерела над існуючими є простота у виготовленні, низька вартість, мобільність, а також відсутність необхідності отримання спеціальних дозволів на його використання. Обґрунтовано методику використання джерела для проведення геофізичних досліджень у ґрунтових товщах, зокрема, запропоноване джерело є перспективним при дослідженні властивостей ґрунтових масивів [Кендзера та ін., 2020]. Такі методи можна використовувати у пошуковій геофізиці для створення джерела сейсмічних хвиль.

Робота фінансується за НДР 0118U000044.

Список літератури

- Ивашин В.В., Иванников Н.А., Узбеков К.Х. К вопросу создания переносных импульсных невзрывных сейсмоисточников с индукционно-динамическим приводом. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15. № 4. С. 75—81.
- Какенов К. С. Современные методы уплотнения грунтов взрывными воздействиями. Анализ последствий аварийных взрывов. Караганда: Изд. Караганд. эконом. ун-та, 2012. 361 с.
- Кендзера О.В., Микуляк С.В., Семенова Ю.В., Скуратівський С.І. Моделювання сейсмічної реакції прошарку ґрунту в рамках нелокальної моделі суцільного середовища. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 3. С. 47—58. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204700>.
- Николаев Ю.А., Васильев А.А., Ульяницкий В.Ю. Газовая детонация и ее применение в технике и технологиях (обзор). *Физика горения и взрыва*. 2003. Т. 39. № 4. С. 22—54.
- Обрубов В.А. Обращенный гравитационный источник сейсмических колебаний. *Международный научный журнал «Инновационная наука»*. 2016. № 4. С. 137—140.
- Пат. 103516 Україна. Секційна торпеда для вибухової обробки привибійної зони нафтогазоносного пласта (Нагорний В.П., Денисюк І.І.). Опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24.
- Пат. 113305 Україна. Спосіб газоімпульсного оброблення водозабірних свердловин (Нагорний В.П., Микуляк С.В., Поляковський В.О., Горovenко А.П.) Опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.
- Пат. 126733 Україна. Пристрій для відновлення водозабірних свердловин: патент на корисну модель (Поляковський В.О., Горovenко А.П.) Опубл. 10.07.2018, Бюл. № 13.
- Пат. 134374 Україна. Газоімпульсний пристрій для відновлення водозабірних свердловин (Поляковський В.О.). Опубл. 10.05.2019, Бюл. № 9.
- Пат. 136848 Україна. Спосіб газоімпульсної обробки нафтових та геотехнічних свердловин (Поляковський В.О., Микуляк С.В., Поляковська Т.С.). Опубл. 10.09.2019, Бюл. № 17.
- Пат. 2199660 РФ. Устройство для многократного создания сейсмических волн в массиве горных пород (Костюченко В.Н., Кочарян Г.Г., Свинцов И.С.). Опубл. 27.02.2003, Бюл. № 6.
- Пат. 2377603 РФ. Сейсмический пневмоизлучатель (Ефимов В.Н.). Опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36.
- Пат. 2457511 РФ. Источник сейсмических волн (Федотов И.Г., Прохоров Н.Г., Детков В.А.). Опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.
- Пат. 2485551 РФ. Сквуженный сейсмический источник (Косолапов А.Ф., Сафиуллин Г.Г., Хасанов Р.М.). Опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.
- Пат. 60392 СССР. Установка газовой детонации (Гранник Б.Ю., Шевелев В.А., Андреев В.К.). Опубл. 25.04.78.
- Фролов С.М. Наука о горении и проблемы современной энергетики. *Рос. хим. журн.* 2008. Т. 52. № 6. С. 129—134.
- Харламов Ю.А. Развитие детонационно-газовых технологий. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. № 7(237). С. 114—131.
- Харламов Ю.А., Будагьянц Н.А. Детонационно-газовые процессы в промышленности. Луганск: Изд-во Восточноукр. гос. ун-та, 1998. 223 с.
- Хмелевской В.К., Горбачев Ю.И., Калинин А.В., Попов М.Г., Селиверстов Н.И., Шевнин В.А. Геофизические методы исследований. Петропавловск-Камчатский: Издательство Камчатского государственного педагогического университета, 2004, 232 с.
- Шнеерсон М.Б., Лугинец А.И., Андреев В.К., Асан-Джалалов А.Г. Невзрывные источники сейсмических колебаний. Справочник. Москва: Недрa, 1992, 240 с.

## Gas mixture explosion as a tool for generating impulsive disturbances

V.A. Polyakovskiy, 2021

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

The work is devoted to the development of a device for generating impulsive perturbations in soil massifs. It is proposed to use the explosion energy of a high-pressure acetylene-oxygen gas mixture as a source of impulse perturbations. Applying the standard method of measuring mechanical stresses and using piezoelectric sensors, it is obtained the stress fields occurring in the soils when an explosion of the gas mixture takes place. It is revealed that the dependences of the maximal stresses in the soil massif on the relative distance to the source, when the gas charge under high pressure acts, are the power functions. The exponents of power functions approximating these experimental dependences are obtained. The attenuation of the maximal radial stresses with the distance is considered for the two cases when the charges filled with gas mixture under low and high pressure act. The comparison of these cases indicates their similarity. In the paper it is also performed the analysis of modern methods of using explosive and non-explosive sources for seismic wave generation during investigations in the search geophysics. The existing structural sources of seismic waves used in the seismic exploration are analyzed in detail. The disadvantages and advantages of explosive and non-explosive impulsive sources of seismic waves are indicated. Among the advantages of the proposed wave sources it is worth noting their low price and mobility. There is no need to obtain special permits for their use. The obtained results allow one to expand the field of gas detonation application. In particular, it can be used as an alternative source of seismic waves. The proposed method is promising for training in search geophysics and in the study of properties of soil massifs.

**Key words:** explosives, gas detonation, explosion, detonation wave, gas-dynamic methods, pulsed non-boom source, seismic survey, seismic waves.

### References

- Ivashin, V.V., Ivannikov, N.A., & Uzbekov, K.Kh. (2013). To question about the creation a portable pulse of non-explosive seismic source with electrodynamic drive. *Izvestiya Samarского nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 15(4), 75—81 (in Russian).
- Kakenov, K.S. (2012) *Modern methods of soil compaction by explosive effects. Analysis of the consequences of emergency explosions*. Karaganda: Edition of the Karaganda Economic University, 361 p. (in Russian).
- Kendzera, O.V., Mykulyak, S.V., Semenova, Yu.V., & Skurativskiy, S.I. (2020). Modeling of seismic response of soil layer within the framework of nonlocal model of continuous medium *Geofizicheskiy Zhurnal*, 42(3), 47—58. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204700> (in Ukrainian).
- Nikolaev, Y.A., Vasilyev, A.A. & Ulyanitskiy, B.Y. (2003) Gas detonation and its application in engineering and technologies (review). *Fizika goreniya i vzryva*, 39(4), 22—54 (in Russian).
- Obrubov, V.A. (2016). *Inverted gravity source of seismic vibrations. International scientific journal «Innovative Science»*, (4), 137—140 (in Russian).
- Nagorniy, V.P., & Denisyuk, I.I. (2015). Pat. 103516 Ukraine. Sectional torpedo for blasting of the bottomhole zone of the oil and gas reservoir Publ. 12/25/2015, Bull. № 24 (in Ukrainian).
- Nagorniy, V.P., Mykulyak, S.V., Polyakovskiy, V.O., & Gorovenko, A.P. (2017). Pat. 113305 Ukraine. Method of gas-pulse treatment of water intake wells Publ. 25.01.2017, Bull. № 2 (in Ukrainian).



- Polyakovskiy, V.O., & Gorovenko, A.P. (2018). Pat. 126733 Ukraine. Device for restoration of water intake wells. Publ. 10.07.2018, Bull. № 13 (in Ukrainian).
- Polyakovskiy, V.O. (2018). Pat. 134374 Ukraine. Gas-pulse device for restoration of water intake wells. Publ. 10.05.2019, Bull. № 9 (in Ukrainian).
- Polyakovskiy, V.O., Mykulyak, S.V., & Polyakovska, T.S. (2019). Pat. 136848 Ukraine. Method of gas-pulse treatment of oil and geotechnical wells.. Publ. 10.09.2019, Bull. № 17 (in Ukrainian).
- Kostyuchenko, V.N., Kocharyan, G.G., & Svin-tsov, I.S. (2003). Pat. 2199660 Russia. A device for multiple generation of seismic waves in a rock mass. Publ. 27.02.2003, Bull. № 6 (in Russian).
- Efimov, V.N. (2009). Pat. 2377603 Russia. Seismic pneumatic emitter. Publ. 27.12.2009, Bull. № 36 (in Russian).
- Fedotov, I.G., Prokhorov, N.G., & Detkov, V.A. (2012). Pat. 2457511 Russia. Source of seismic waves. Publ. 27.07.2012, Bull. № 21 (in Russian).
- Kosolapov, A.F., Safiullin, G.G., & Khasanov, R.M. (2013). Pat. 2485551 Russia. Borehole seismic source. Publ. 20.06.2013, Bull. № 17 (in Russian).
- Grannik, B.Y., Shevelev, V.A., & Andreev, V.K. (1978). Pat. 60392 USSR. Installation of gas detonation. Publ. 25.04.1978 (in Russian).
- Frolov, S.M. (2008). Combustion Science and Problems of Modern Energy. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 52(6), 129—134 (in Russian).
- Kharlamov, Y.A. (2017). Development of gaseous detonation technologies. *Visnyk skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya*, (7), 114—131 (in Russian).
- Kharlamov, Yu.A., & Budagyants, N.A. (1998). *Detonation-gas processes in industry*. Lugansk: Publ. House of East Ukrainian State University, 223 p. (in Russian).
- Khmelevskoy, V.K., Gorbachev, Yu.I., Kalinin, A.V., Popov, M.G., Seliverstov, N.I., & Shevni, V.A. (2004). *Geophysical research methods*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka State Pedagogical University Publ. House, 232 p. (in Russian).
- Shneerson, M.B., Luginets, A.I., Andreev, V.K., & Asan-Dzhalalov, A.G. (1992). *Non-explosive sources of seismic vibrations*. Moscow: Nedra, 240 p. (in Russian).

## Взрыв газовой смеси как способ генерации импульсных возмущений

В.А. Поляковский, 2021

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

Рассмотрена разработка устройства для генерирования импульсных возмущений в грунтовых массивах. В качестве источника импульсных возмущений предложено использовать энергию взрыва ацетиленово-кислородной газовой смеси, находящейся под высоким давлением. На основе стандартной методики измерения механических напряжений с использованием пьезоэлектрических датчиков получены поля напряжений в грунте, возникающие при воздействии взрыва газовой смеси. Установлено, что зависимости максимальных напряжений в грунтовом массиве от приведенного расстояния до источника при воздействии газовых зарядов, находящихся под высоким давлением, являются степенными функциями. Получены коэффициенты степенных функций, аппроксимирующие эти экспериментальные зависимости. Сравнение затуханий максимальных радиальных напряжений с рас-

стоянием, полученных при воздействии взрыва газового заряда низкого давления и заряда, заполненного газовой смесью под высоким давлением, указывает на их сходство. Проведен анализ современных методов использования взрывных и невзрывных источников для генерирования сейсмических волн при проведении исследований в поисковой геофизике. Детально проанализированы существующие в настоящее время конструктивные источники сейсмических волн, используемых в сейсморазведке. Отмечаются недостатки и преимущества взрывных и невзрывных импульсных источников сейсмических волн. Среди преимуществ предложенных источников волн следует отметить их низкую стоимость и мобильность. Для работы с такими источниками отсутствует необходимость получения специальных разрешений для их использования. Полученные результаты позволяют расширить область применения газовой детонации, в частности, использовать ее в качестве альтернативного источника сейсмических волн. Предложенный способ перспективен для применения в поисковой геофизике и при исследовании свойств грунтовых массивов.

**Ключевые слова:** взрывчатые вещества, газовая детонация, взрыв, детонационная волна, газодинамические методы, импульсный невзрывной источник, сейсморазведка, сейсмические волны.