

А.І. Лучко, здобувач
Інститут гідромеханіки НАН України

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИБУХІВ ЕТАЛОННИХ І НОВИХ ПРОМИСЛОВИХ СУМІШЕВИХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН МІСЦЕВОГО ПРИГОТУВАННЯ

(Представлено к.т.н., доц. Кальчуком С.В.)

Для п'яти нових промислових сумішевих вибухових речовин місцевого приготування та двох еталонних (грамоніт 79/21 та ігданіт) отримано: рівняння реакції вибухового перетворення, значення термодинамічних і детонаційних параметрів вибуху, а також двочленні рівняння стану газоподібних продуктів вибуху.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями. Підривні роботи в ґрунтах і твердих гірських породах є сучасною і поширеною технологією виконання робіт з різноманітними практичними цілями, а саме: для спорудження підземних і відкритих резервуарів, усунення просідання ґрунтових масивів, спорудження сейсмосахисних щілин – екранів, руйнування великих об'ємів гірських порід в кар'єрах тощо. Однак сучасний стан розвитку цієї технології характеризується малим коефіцієнтом використання енергії вибуху, підвищенням вимог технологічної і екологічної безпеки, економічною недоцільністю підривання ґрунтів і гірських порід з використанням дорогих заводських промислових вибухових речовин (ВР), що обумовлює неконкурентоспроможність кінцевої продукції (одиниці площі ущільненого ґрунту, одиниці об'єму викинутої або розпушеної гірської породи і таке інше).

Для поліпшення ситуації, що склалася з народногосподарським використанням енергії вибуху останнім часом в Україні, Національними програмами поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 1996...2000 роки і на 2001...2005 роки (Постанови Кабінету Міністрів від 2.11.1996 р., №1345 і від 10.10.2001 р., №1320) було передбачено створення нових ВР, засобів заряджання свердловин і виконання ряду інших важливих завдань вибухової справи. Тому в багатьох наукових і виробничих колективах України були розпочаті й виконуються нині інтенсивні пошуки раціональних рішень з різних напрямків вибухової технології деформування ґрунтів і твердих гірських порід.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Зокрема доведено [1], що ефективне руйнування гірських порід можна здійснювати за допомогою ВР, що готуються на місці проведення підривних робіт з використанням простих і дешевих компонентів. Ці речовини повинні допускати механізацію процесів приготування й заряджання, мати стабільні вибухові властивості та водостійкість. У роботах [2–4] наведено результати досліджень окремих фізико-хімічних і вибухових властивостей вибухових сумішей, розроблених у ЗАТ «Техновибух», що забезпечують: можливість механізації їх приготування і заряджання, регулювання об'ємної концентрації енергії вибуху, рівномірне дроблення порід, зменшення виходу негабаритних фракцій і зниження вартості руйнування порід. У [5] викладено результати розробки і впровадження фізико-технічних основ руйнування скельних порід вибухами свердловинних зарядів, сформованих із зазначених сумішей у поліетиленових рукавах. Досліджено термодинамічні характеристики безтритилових вибухових сумішей [6] і їх технічна ефективність [7, 8] залежно від зміни вмісту компонентів, що входять у вибухову суміш. У [9] наведено склади нових типів ВР і ущільнювальних компонентів, розроблених у ЗАТ «Техновибух» спеціально для використання у вибуховій технології виконання гірничих робіт.

Виділення не вирішених раніше питань і формулювання цілей статті. З аналізу наведених вище праць випливає, що висновки про ефективність розроблених ВР базуються в основному на візуальних спостереженнях практичних результатів, оскільки теоретичні питання динаміки вибуху цих ВР у ґрунтах і гірських породах не досліджувалися.

Відомо, що для теоретичного дослідження динаміки вибуху в суцільному середовищі, з метою замикання відповідної системи диференціальних рівнянь в частинних похідних, необхідно мати рівняння стану газоподібних продуктів вибуху (ПВ). І часто в наукових дослідженнях використовується рівняння стану газоподібних ПВ у вигляді двочлена (залежності тиску P ПВ від щільності ρ ПВ):

$$P = A\rho^{n_0} + B\rho^{\gamma_0+1}, \quad (1)$$

де сталі A, n_0, B, γ_0 визначаються за спеціальною методикою [10, 11], що зводиться до розв'язання системи:

$$k_n = n_0 + B\rho_n^{\gamma_0+1}(\gamma_0 + 1 - n_0) \cdot P_n^{-1};$$

$$\gamma_0 = k_0 - 1;$$

$$Q_e = \frac{P_n}{\rho_n(n_0 - 1)} + \frac{B\rho_n^{\gamma_0}(n_0 - \gamma_0 - 1)}{\gamma_0(n_0 - 1)};$$

$$P_n = A\rho_n^{n_0} + B\rho_n^{\gamma_0+1},$$

де k_n – показник політропи газоподібних ПВ, що визначається за напівемпіричною формулою [13]:

$$k_n = \frac{10\rho_{BP}(4.2 + 2\varphi\rho_{BP})^2}{40 + 75\varphi\rho_{BP}^2},$$

ρ_{BP} – щільність ВР, г/см³; $\varphi = m \cdot Q_e^{-\frac{1}{2}}$; m – кількість молів газоподібних ПВ на один грам ВР; ρ_n – щільність ВР на фронті детонаційної хвилі, $\rho_n = \rho_{BP} \frac{k_n + 1}{k_n}$ [12]; P_n – детонаційний тиск у точці Жуге,

$P_n = \frac{\rho_{BP} D^2}{k_n + 1}$ [12], D – швидкість детонації, значення її автор визначав для кожної з досліджуваних ВР за

допомогою метода Дотріша; $k_0 = \frac{C_p}{C_v}$ – показник ізентропи (адіабати) ПВ, C_p і C_v – теплоємність при

постійному тиску і постійному об'ємі; $C_v = \frac{Q_e}{T_e \sum n}$ [14], Q_e і T_e – теплота і температура вибуху, що

визначаються за спеціальними методиками, коли відомі відповідно теплоти утворення і зміна внутрішньої енергії вихідних компонентів ВР і продуктів вибуху; $\sum n$ – сумарна кількість молів ПВ на один кілограм ВР, $C_p = C_v + R$, $R = 8,29 \text{ Дж} / \text{моль} \cdot \text{К}$ – універсальна фізична стала величина, що входить у рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона), і чисельно дорівнює роботі розширення одного моля ідеального газу в ізобаричному процесі при збільшенні температури на один Кельвін.

З викладеного вище випливають цілі статті. Зокрема для отримання рівняння стану ПВ досліджуваних ВР необхідно: записати рівняння їх вибухового перетворення; визначити теплоту і температуру вибуху, питомий об'єм утворюваних газоподібних ПВ; теплоємність при постійному тиску і постійному об'ємі; визначити щільність і тиск на фронті детонаційної хвилі та швидкість детонації.

Викладення основного матеріалу дослідження. Наведемо спочатку дані про еталонні та досліджувані ВР. Грамоніт 79/21 та ігданіт вибрані порівнювальними еталонами з таких міркувань. По-перше, для них в наукових джерелах наведено параметри вибуху і, розраховуючи їх за прийнятими автором методиками, можна робити висновок щодо їх правильності. По-друге, грамоніт 79/21 та ігданіт є ВР середньої потужності, за цим показником приблизно характеризують відповідно верхню і нижню межі практичної застосовності цих ВР. З урахуванням цього, отримуючи для нових досліджуваних ВР певні розрахункові дані (чи закономірності), що лежать між розрахунковими даними (чи закономірностями), отриманими для грамоніту 79/21 та ігданіту, можна робити висновок про ефективність нових ВР. По-третє, грамоніт 79/21 є поширеною ВР, однак через тротиловімісність у перспективі вона повинна бути замінена іншими ВР. По-четверте, застосування ігданіту, через нестабільність з часом його складу, не гарантується стовідсоткове спрацювання заряду (вибуху) і досягнення планованого технологічного ефекту. Через це ігданіт також не рекомендується для широкого застосування для підривних робіт.

Для досліджень були взяті такі ВР [7, 9].

1. Полімікс ГР4-Т10 – призначений для руйнування гірських порід різної міцності. Ця ВР являє собою механічну суміш за масою аміачної селітри (АС) (80 %), дизельного палива (0,8 %), тротилу (10 %) і компонента горючого набухаючого ГНК 4 (9,2 %). ГНК4 виготовляється у вигляді суміші дизельного палива, висівку, гуару, масла індустріального, карбаміду, феросиліцію, деревного вугілля, алюмокалієвого галуна.

2. Полімікс ГР1/8 на основі гранульованої і гранульованої пористої АС – призначений для руйнування гірських порід різної міцності. Ця ВР складається за масою з 89,5 % АС, 2,5 % дизельного палива і 8 % компонента горючого набухаючого – ГНК1. У склад ГНК1 входять, крім компонентів ГНК4, інші речовини, зокрема гумова крихта, стеарат натрія, перліт, олеїнова кислота.

3. Комполайти ГС – призначені для проведення підривних робіт свердловинними зарядами в необхідних породах різної міцності в будь-яких кліматичних умовах при ручному та механізованому заряджанні їх безпосередньо в свердловини насипом, або із застосуванням поліетиленових рукавів. Ця ВР складається з 88 % АС і 12 % спеціального компонента горючого стисливого – ГСК.

Експериментальними дослідженнями встановлено [9], що введення в склад поліміксів і комполайтів спеціальної добавки – компонента рідкого ущільнюючого марки К2 (КРУК 2) – значно підвищує ефективність дроблення гірських порід. Ця добавка складається з води, аміачної і натрієвої селітр, карбаміду, азотної кислоти, моноетаноламіну, етиленгліколю.

4. Полімікс ГР 1/8 (85 %)+КРУК(15 %) є сумішшю за масою 85 % полімікса ГР1/8 з 15 % компонента рідкого ущільнюючого марки К2.

5. Полімікс ГР1/8 (74 %)+КРУК2 (26 %) є сумішшю 74 % за масою полімікса ГР1/8 з 26 % компонента рідкого ущільнюючого марки К2.

Розрахунки будемо виконувати за методиками [10–14], згідно з якими під час вибуху відбувається в першу чергу перетворення тих компонент, при утворенні оксидних утворень котрих виділяється більша кількість тепла на один моль-атом кисню, тобто спочатку перетворюється водень з утворенням пари води, потім вуглець з утворенням його оксидних з'єднань CO_2 чи CO залежно від кисневого балансу (КБ). При $КБ = 0$ буде виділятися лише CO_2 ; при невеликому $КБ < 0$ – суміш CO_2 і CO ; при $КБ > 0$ виділяється CO_2 , частково NO , кількість якого залежить від надлишку кисню в складі ВР, і азот, що виділяється у вільному складі. При наявності в складі ВР активних металів їх окислення, порівняно з окисненням вуглецю, відбувається зі значно більшим виділенням тепла, тому кисень витрачається в першу чергу на їх окиснення, а не на окиснення вуглецю.

При цьому необхідно зауважити, що реальна теплота вибуху, яка може бути експериментально визначена, розрахована чи реалізована, є величина непостійна і залежить від того, при якому ступені розширення газів виконуються заміри або розрахунок.

Найбільш визначеною термодинамічною величиною є теплота Q_{max} , яка відповідає умові максимального теплового ефекту, можливого під час вибуху даної ВР, і максимальній зміні ентропії системи в процесі вибуху з утворенням термодинамічно найбільш стійких з'єднань. Тобто Q_{max} досягається тоді, коли утворюються вищі окисли горючих елементів ВР. Q_{max} визначається тільки хімічним складом ВР, не залежить від початкових і кінцевих параметрів стану ПВ. Отже Q_{max} є сталою величиною ВР. Друга можлива умова (максимальний об'єм ПВ) побудована на принципі Ла-Шательє, згідно з яким при вільному і необмеженому розширенні ПВ система буде прагнути до рівноваги, що відповідає найбільшому їх об'єму. Даний принцип вимагає відсутності вільного вуглецю в ПВ. При $КБ > 0$ утворюються продукти повного окиснення, ці дві умови збігаються і $Q_{vmax} = Q_{max}$.

При $КБ < 0$ спочатку весь вуглець окиснюється до CO , потім залишок кисню порівну розподіляється на окиснення CO до CO_2 і H_2 до H_2O , але з урахуванням рівноваги реакції водяного газу.

Експериментальні значення теплоти вибуху повністю не збігаються з обома зазначеними ідеалізованими величинами. Вони завжди менші, ніж Q_{max} . Це пояснюється тим, що в реальних умовах експеримента завжди фіксується певний рівноважний стан газів. Найбільше збігання з Q_{max} спостерігається для ВР з нульовим і невеликим позитивним КБ, що пояснюється малою швидкістю реакцій дисоціації CO_2 і H_2O . Для ВР з великим $КБ > 0$ збігання менш повне через утворення під час вибуху оксидів азоту.

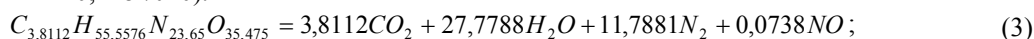
Найменш повне збігання спостерігається для ВР з $КБ < 0$, де тепловий ефект вибуху сильно залежить від щільності ВР й інших факторів. Для цих ВР експериментальна теплота вибуху займає проміжне положення між Q_{max} і Q_{vmax} . З метою наближення розрахункових значень теплот вибуху до експериментальних для ВР з $КБ < 0$ рекомендовано користуватися середньоарифметичною величиною між Q_{max} і Q_{vmax} [15]. Використовуючи наведені рекомендації, автор виконував розрахунки термодинамічних і детонаційних параметрів ВР з $КБ > 0$ за реакціями на максимальне тепловиділення, а для ВР з $КБ < 0$ – як за реакціями на максимальне тепловиділення, так і на максимальне газовиділення. І в усіх розрахунках використовував середньоарифметичні значення цих параметрів.

Після складання умовних формул ВР і визначення кисневого балансу їх, можна записати реакції вибухового перетворення у вигляді:

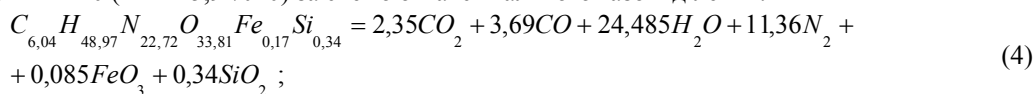
для грамоніту 79/21 ($КБ = +0,26 \% > 0$)



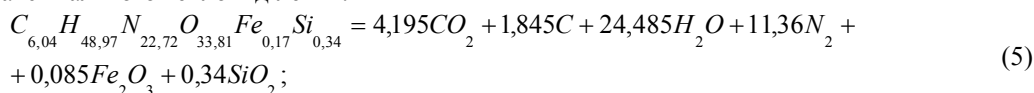
для ігданіту ($КБ = +0,118 \% > 0$):



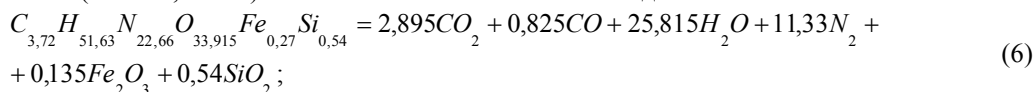
для полімікса ГР4-Т10 ($КБ = -5,9 \% < 0$) за схемою максимального газовиділення:



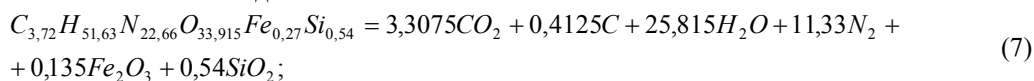
і за схемою максимального тепловиділення:



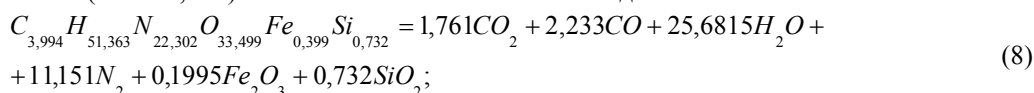
для полімікса ГР1/8 (КБ = -1,3 %<0) за схемою максимального газовиділення:



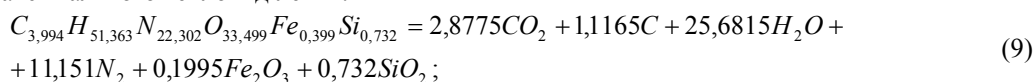
і за схемою максимального тепловиділення:



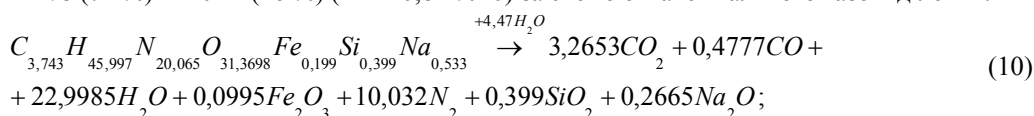
для комполайта ГС6 (КБ = -3,6<0) за схемою максимального газовиділення:



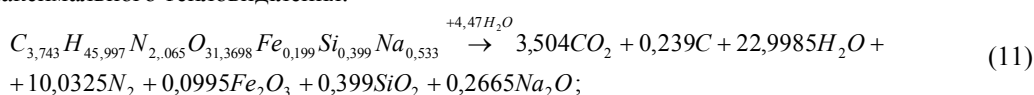
і за схемою максимального тепловиділення:



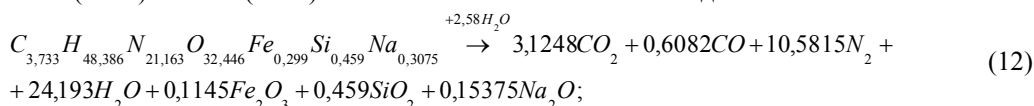
для полімікса ГР1/8 (74 %)+КРУК2(26 %) (КБ = 0,84 %<0) за схемою максимального газовиділення:



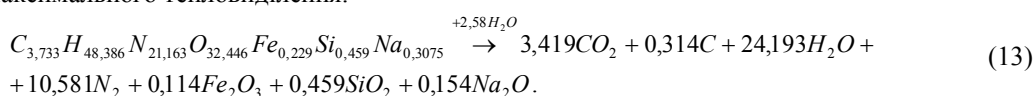
і за схемою максимального тепловиділення:



для полімікса ГР1/8(85 %)+КРУК2(15 %) за схемою максимального газовиділення:



і за схемою максимального тепловиділення:



З аналізу рівнянь вибухового перетворення еталонних ВР грамоніту 79/21(2) та ігданіту (3), досліджуваних ВР (4)–(13) та результатів розрахунків, виконаних на базі цих рівнянь, впливає:

1) розраховані для грамоніту 79/21 та ігданіту параметри (кисневий баланс, теплота вибуху, питомий об'єм газів, повна ідеальна робота вибуху) майже збігаються з даними, наведеними в наукових джерелах для цих ВР;

2) з екологічної точки зору, найкращою ВР є полімікс ГР1/8 і його модифікації ГР1/8(85 %)+КРУК2(15 %), ГР1/8(74 %)+КРУК2(26 %), оскільки у складі газоподібних ПВ цих ВР найменша кількість шкідливого оксиду вуглецю;

3) оскільки в склад ГР4-Г10 входить тротил, то в складі газоподібних ПВ цієї ВР найбільша кількість шкідливого оксиду вуглецю, порівняно з ПВ інших досліджуваних ВР. У таблиці наведені середньоарифметичні значення параметрів еталонних і досліджуваних ВР.

Таблиця

Середньоарифметичні значення параметрів еталонних і досліджуваних вибухових речовин

ВР \ Параметр	Грамоніт 79/21	Ігданіт	Полімікс ГР4-Г10	Полімікс ГР1/8	Полімікс ГР1/8(85 %) +КРУК2(15 %)	Полімікс ГР1/8(74 %) +КРУК2(26 %)	Комполайт ГС6
I	$\frac{1031}{4312,4}$	$\frac{928}{3885,3}$	$\frac{923}{3864,4}$	$\frac{942}{3943,9}$	$\frac{856}{3583,8}$	$\frac{801,5}{3355,7}$	$\frac{936}{3919,7}$
II	950	850	872	875	950	1000	852
III	1375	1240	1270	1273	1364	1425	1245
<i>Продовження таблиці</i>							
IV	3243	2838	2879	2893	2793	2717	2861

V	3300	2500	3150	3600	3700	3900	2550
VI	3,2	1,68	2,71	3,55	3,94	4,54	1,75
VII	1,248	1,264	1,245	1,245	1,242	1,242	1,235
VIII	2,233	2,163	2,189	2,194	2,293	2,348	2,158
A	2,7769	$1,1127 \cdot 10^{-3}$	5,67	56,682	43,96	59,345	7,671
n_0	2,8225	4,4098	2,7327	2,4743	2,482	2,4839	2,241
$B \cdot 10^{-3}$	1,4519	1,502	1,2789	1,015	0,68	0,604	1,638
γ_0	0,248	0,264	0,245	0,245	0,242	0,242	0,235

У таблиці позначено: I – теплота вибуху $\frac{\text{ккал/кг}}{\text{кДж/кг}}$; II – щільність ВР, кг/м^3 ; III – щільність в точці Жуге, кг/м^3 ; IV – температура вибуху, К; V – швидкість детонації, м/с; VI – тиск у точці Жуге, ГПа; VII – показник адиабати, $k_0 = C_p / C_v$; VIII – показник політропи, k_n .

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Для еталонних ВР грамоніту 79/21 й ігданіту встановлена добра узгодженість розрахованих параметрів вибуху з їх відомими джерельними значенням. Уперше для досліджуваних нових ВР складено рівняння реакції вибухового перетворення та визначено теплоту та температуру вибуху, коефіцієнти адиабати і політропи, кількість газоподібних і твердих продуктів вибуху та інші параметри. Вперше для еталонних і досліджуваних ВР розраховані рівняння стану газоподібних продуктів вибуху у вигляді двочленної функції від щільності. Оскільки для відомих ВР такі рівняння стану газоподібних продуктів вибуху широко використовуються в наукових дослідженнях, то в нашому випадку отримання цих рівнянь створило умови для подальшого математичного моделювання динамічної дії вибуху нових ВР у ґрунтах і твердих гірських породах. Результати таких досліджень будуть наведені в наступних публікаціях.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Крысин Р.С., Домничев В.Н. Современные взрывчатые вещества местного приготовления. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 140 с.
2. Прокопенко В.С., Косьмін І.В., Лець П.Л. Совершенствование и разработка взрывчатых веществ местного приготовления // Охрана труда. – 2000. – С. 31–34
3. Прокопенко В.С., Туручко І.І., Косьмін І.В. Нові вибухові речовини місцевого приготування // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДІОП. – 2001. – Вип. 4. – С.161–165.
4. Туручко І.І. Косьмін І.В. Нові вибухові речовини з регульованою об'ємною концентрацією енергії // Вісник НТУУ «КПІ» / Гірництво. – 2001. – Вип. 5. – С. 52–56.
5. Прокопенко В.С. Фізико-технічні основи руйнування скельних порід вибухами свердловинних зарядів вибухових речовин у рукавах: Автореф... дис. докт. техн. наук. – Київ: Націон.НДІ охорони праці, 2003. – 35 с.
6. Термодинамічні характеристики тетрамонів-безтритилових вибухових сумішей // В.С. Прокопенко, І.В. Косьмін, А.І. Лучко, А.В. Прокопенко // Вісник Національного технічного університету України «КПІ»// Гірництво. – 2003. – Вип. 8. – С. 65–73.
7. Технічна ефективність композитів-безтритилових вибухових речовин місцевого приготування / В.С. Прокопенко, І.В. Косьмін, А.І. Лучко, А.В. Прокопенко // Вісник Національного технічного університету України «КПІ» / Гірництво. – НТУУ «КПІ». – 2004. – Вип. 10. – С. 59–65.
8. Результати дослідження властивостей нових безтритилових сумішевих вибухових речовин з нульовим кисневим балансом // І.А. Лучко, А.В. Прокопенко, І.В. Косьмін, А.І. Лучко // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2004. – № 3 (30). – С. 149–153.
9. Прокопенко В.С., Лотоус К.В. Взрывание горных пород скважинными зарядами взрывчатых веществ в рукавах. – К., 2006. – 113 с.
10. Ляхов Г.М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 288 с.
11. Механический эффект взрыва в грунтах / И.А. Лучко, В.А. Плаксий, Н.С. Ремез и др. ; Под ред. И.А. Лучко. – К.: Наук. думка, 1989. – 232 с.
12. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, перераб. – В 2 т. – Т. 1. – М.: Физматлит, 2002. – 832 с.
13. Пепекин В.И., Кузнецов И.М., Лебедев Ю.А. О взаимосвязи параметров детонации с химическим составом ВВ // Докл. АН СССР. – 1977. – 234. – № 1. – С. 105–108.
14. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1988. – 358 с.
15. Светлов Б.Я., Яременко Н.Е. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. – М.: Недра, 1973. – 215 с.

ЛУЧКО Андрій Іванович – головний спеціаліст конструкторського відділу проектного інституту «УКРСПЕЦТУНЕЛЬПРОЕКТ», здобувач Інституту гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:

– деформування ґрунтів і гірських порід енергією вибуху.

Тел.(сл.): 494-38-65, 241-96-32.

Подано 10.06.2008

Лучко А.І. Результати дослідження параметрів вибухів еталонних і нових промислових сумішевих вибухових речовин місцевого приготування

Лучко А.И. Результаты исследования параметров взрывов эталонных и новых промышленных смесевых взрывчатых веществ местного приготовления

Luchko A.I. Results of the Investigations Blast Parameters of Reference and New Industrial Mixed Explosives of Local Preparation /

УДК 622.235.24

Results of the Investigations Blast Parameters of Reference and New Industrial Mixed Explosives of Local Preparation / A.I. Luchko

For five new industrial mixed explosives of local preparation and two reference explosives (grammonit 79/21 and igdanit) the equations of reactions of explosive transformation, values of thermodynamic and detonation blast parameters, as well as the binomial equations of condition of gas blast products are received.

УДК 622.235.24

Результаты исследования параметров взрывов эталонных и новых промышленных смесевых взрывчатых веществ местного приготовления /А.И. Лучко

Для пяти новых промышленных смесевых взрывчатых веществ местного приготовления и двух эталонных (граммонит 79/21 и игданит) получено: уравнения реакций взрывчатого превращения, значения термодинамических и детонационных параметров взрыва, а также двухчленные уравнения состояния газообразных продуктов взрыва.