

УДК 550.34:623.45/.45/.748

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.3\(39\).75-80](https://doi.org/1034169/2414-0651.2023.3(39).75-80)**В. І. ОСАДЧИЙ****О. О. ФЕСАЙ**<https://orcid.org/0009-0008-7611-9530>**І. В. КОРНІЄНКО**<https://orcid.org/0009-0006-8712-404X>**В. В. ГРАБЧЕНКО**

(Головний центр спеціального контролю
Національного центру управління та випробувань
космічних засобів Державного
космічного агентства України, смт. Городок)

О. О. РАССТРИГІН, доктор технічних наук,
професор

<https://orcid.org/0000-0002-1483-6111>

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

МЕТОДИКА ОЦІНКИ РІВНЯ ПОТУЖНОСТЕЙ РІЗНОМАНІТНИХ ВИБУХІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕЙСМОГРАМ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОГО ТИПУ БОЄПРИПАСУ

Сейсмологічною мережею Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України з початком повномасштабної агресії РФ проти суверенної України було зареєстровано тисячі сейсмічних сигналів від вибухів у результаті ракетних, авіаційних, артилерійських ударів, значення магнітуди mb яких перевищує 0,5. На основі аналізу цих сейсмічних сигналів були визначені співвідношення між енергетичними класами (K), магнітудами (mb), максимальними амплітудами поздовжніх об'ємних фаз $A_{\max}^p$ і потужностями (Y) вибухів в тротиловому еквіваленті у Київській, Житомирській, Вінницькій, Хмельницькій, Чернігівській областях. Результати аналізу співвідношень $K = f(Y)$, $mb = f(Y)$, $\lg(Y) = f(\lg A_{\max}^p)$ дозволяють здійснювати оцінки потужностей вибухів в тротиловому еквіваленті і визначати ймовірні типи боєприпасів.

Ключові слова: сейсмічна станція, сейсмічний сигнал, сейсмічна хвиля, вибух, боєприпас, потужність в тротиловому еквіваленті, магнітуда, енергетичний клас, максимальна амплітуда, вибухова речовина, кількість вибухової речовини.

ВСТУП

Для оцінки рівня впливу вибуху на об'єкти необхідно знати масу речовини, що вибухнула. Однак, кожна вибухова речовина має різні властивості та характеризується певною кількістю кількісно-якісних показників. З метою приведення оцінки наслідків різних вибухів до єдиного критерію, прийнято це робити через тротиловий еквівалент. Далі для розуміння змісту матеріалу статті наведемо основні терміни та визначення, що зазвичай застосовуються у сейсмології та вибухотехніці.

Тротиловий еквівалент являє собою таку масу тротилу, при вибуху якої виділяється стільки ж енергії, скільки її виділиться при вибуху заданої кількості конкретного пального або вибухової речовини. При цьому під вибухом розуміється процес швидкого виділення великої кількості енергії, викликаного раптовим фізичним або хімічним перетворенням речовини або суміші. Він може бути викликаний детонацією або фізичним розкладом речовин, а також під час хімічних перетворень, при швидкому згорянні газо-, паро- або пилоповітряних сумішей. Основною ознакою вибуху є миттєва зміна тиску, який залежить від температури та об'єму продуктів горіння.

У найбільш широкому значенні слова вибухом називають фізичне або хімічне перетворення речовини, що супроводжується укоротким швидким переходом його енергії в енергію стиснення і руху вихідної речовини або продуктів його перетворення та навколишнього середовища.

Вибухові речовини – це ті речовини, що здатні до вибухових перетворень, а вибухові перетворення – це швидка хімічна реакція, що супроводжується вибухом. До фізичних відносяться вибухи, при яких не відбуваються хімічні реакції. Це вибухи, що працюють під тиском, вибухи електродинамічні і термодинамічні.

Хімічним вибухом вибухової речовини (ВР) називають хімічне перетворення, що самопоширюється з великою швидкістю і протікає з виділенням великої кількості тепла та утворенням газів. До хімічних вибухів відносяться вибухи конденсованих ВР, вибухи пального газопароповітряних або пилоповітряних сумішей [1].

З багаторічного досвіду вивчення підземних, наземних хімічних вибухів відомо, що певна незначна частина енергії (менше 5 %) передається в зону пружних деформацій, включаючи утворення сейсмічних коливань [2].

Масштаб сейсмічного явища по запису сейсмічних хвиль на деякій відстані від джерела (вибуху боєприпасу) може бути оцінено шляхом розрахунку магнітуди M або енергії E . Під терміном магнітуда (M) розуміється відносна енергетична характеристика землетрусу, що представляє собою логарифм максимальної швидкості коливань земної поверхні або логарифм максимальних зміщень в сейсмічних хвилях різного типу, обрахований від деякого умовного рівня, що відповідає слабкому поштовху, магнітуда якого прийнята за 0. Значення величини енергетичного класу землетрусу K визначається як логарифм у розмірності джоуль енергії E сейсмічних хвиль, які перетинають референс-сферу радіусу 10 км [3].

Слід зазначити, що значення величин магнітуди і енергетичного класу залежить від величини потужності

вибуху боєприпасу в тротиловому еквіваленті зі сторони теплового поля.

Метою статті є розробка методики оцінки потужностей різноманітних вибухів в тротиловому еквіваленті з використанням сейсмограм для визначення ймовірного типу боєприпасу, що застосовувався, для її послідовного врахування у діяльності державних, науково-дослідних та експертних установ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Згідно із законом збереження енергії, сумарна потенційна енергія E заряду вибухової речовини записується формулою з переліченням її основних складових:

$$E = E_{др} + E_c + E_d, \quad (1)$$

де $E_{др}$ – частка енергії, що витрачається на даремну роботу при вибуху (нагрів породи та води, виникнення ударної та звукової хвиль, розліт породи тощо); E_c – частка енергії, що йде на утворення сейсмічних хвиль; E_d – частка енергії, що йде на дроблення породи.

З іншого боку, сумарну потенційну енергію E заряду вибухової речовини можна записати також у вигляді наступного виразу:

$$E = QC, \quad (2)$$

де Q – теплота вибуху в Дж/кг, C – маса вибухової речовини в кг [4, 5].

Величина пружної енергії, яка бере участь в утворенні сейсмічних коливань в навколишньому масиві, тобто величина випромінюваної сейсмічної енергії, залежить від геологічної будови середовища, глибини вибуху і, в першу чергу, від типу породи навколо заряду вибухової речовини, її фізико-механічних, а також і інших властивостей [6]. На практиці під час обробки сейсмічних даних широкого поширення набула класифікація подій з енергетичних класів K , що була введена Т.Г. Раутіаном [7, 8].

В останні роки опубліковано ряд робіт, де ця класифікація використовується і для хімічних вибухів, в тому числі слабких, оскільки вона дозволяє проводити визначення на відстанях, починаючи від 10 км. При визначенні енергетичного класу події використовувалася максимальна амплітуда в P і $S(Lg)$ фазах сейсмічних хвиль на короткоперіодних каналах. Далі розрахунок для визначення величини K будемо проводити за формулою [7]:

$$K = 1,8 \lg(Ap + As) + \sigma(\Delta), \quad (3)$$

де Ap і As – максимальна амплітуда P і S хвиль в мікро-нах; $\sigma(\Delta)$ – калібрувальна функція для $Ap + As$ в діапазоні відстаней від 10 до 3000 км.

Величина K може бути визначена також як [7, 8]:

$$K = \lg(E_c), \quad (4)$$

де E_c – енергія, яка випромінюється при сейсмічній події в Дж.

Для визначення залежності між енергетичним класом і оцінками потужності вибухів в роботі використовувалися статистичні дані про вибухи у Київській, Житомирській,

Вінницькій, Хмельницькій, Чернігівській областях під час обстрілів з боку військ РФ. До речі, потужність вибухів при цьому становила від декількох десятків до декількох сотень кілограм в тротиловому еквіваленті. За результатами досліджень та обробки результатів експериментальних (реальних) даних отримана апроксимаційна залежність між енергетичним класом K і потужністю вибухів Y , що має наступний вигляд:

$$K = 1,5511 \lg(Y) + 1,2653. \quad (5)$$

Коефіцієнт детермінації при цьому склав $R^2 = 0,97$.

На рис. 1 показана залежність між енергетичним класом і потужністю вибухів, розрахованою за співвідношенням (5).

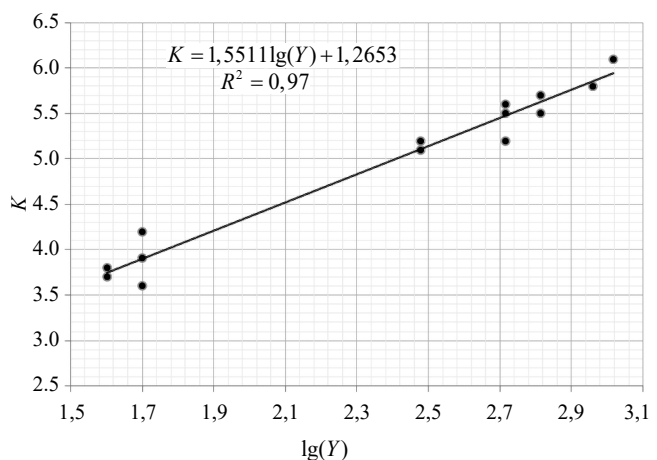


Рис. 1. Залежність між енергетичним класом і потужністю вибухів, розрахованою за співвідношенням (5)

Враховуючи (5), визначаємо потужність Y :

$$Y = 10^{(K-1,2653)/1,5511}. \quad (6)$$

За аналізом матеріалів [9–11] використаємо залежність між магнітудою mb і енергетичним класом K :

$$mb = 0,46K - 0,64. \quad (7)$$

Враховуючи формули (5) і (7), можна визначити залежність між магнітудою mb і потужністю вибухів Y :

$$mb = 0,7143 \lg(Y) - 0,05746. \quad (8)$$

Тоді потужність Y з (8) визначиться як:

$$Y = 10^{(mb+0,05746)/0,7143}. \quad (9)$$

Слід зазначити, що при наявності експериментальних матеріалів постійні коефіцієнти рекомендовано визначати з використанням статистичних даних із застосуванням моделі множинної лінійної регресії, яка виражена у вигляді прямої залежності середнього значення величини Y (результуючої змінної) від двох або більше величин $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ (незалежних змінних):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i \quad (10)$$

або при наявності n спостережень у вигляді:

$$y_i = \sum_{j=1}^n \beta_{i-1} x_{i-1,j} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = i, \quad (11)$$

де x_{ij} – значення j -ї незалежної змінної (x_j) в i -му спостереженні, β – коефіцієнти при змінних, ε_i – похибка.

Модель множинної лінійної регресії (11) для зручності у матрично-векторному виді виглядає як:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1,k-1} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2,k-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{n,k-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Для вибухів, зареєстрованих мережею сейсмічних станцій, оцінки потужностей на епіцентральної відстанях 7–220 км здійснено із співвідношення, що отримане з використанням результатів про вибухи у Київській, Житомирській, Вінницькій, Хмельницькій, Чернігівській областях у ході бойових дій з РФ. Вираз регресійного рівняння з відповідними коефіцієнтами при параметрах моделі був отриманий у наступному вигляді:

$$\lg(Y) = 1,076 \lg(A_{\max}^P) + 1,4082 \lg(\Delta) + 2,9358, \quad (13)$$

де: $A_{\max}^P$ – максимальна амплітуда поздовжньої хвилі в нм; Δ – епіцентральної відстань в км.

Параметри регресії в дослідженнях визначалися за допомогою методу найменших квадратів [12].

Враховуючи (13), потужність Y з неї визначаємо за співвідношенням:

$$Y = 10^{1,076 \lg(A_{\max}^P) + 1,4082 \lg(\Delta) + 2,9358}. \quad (14)$$

Для прикладу на рис. 2 і 3 відповідно наведені сейсмограми ракетного обстрілу м. Хмельницького 18 лютого 2023 року та атаки дронами-комікадзе об'єкту інфраструктури в Київській обл. 10 жовтня 2022 року.

Перший удар: час вступу – 07:03:04 (UTC + 0), енер-

гетичний клас $K = 5,5$ ($Y = 10^{\frac{5,5-1,2653}{1,5511}} = 537$ кг), магнітуда

$mb = 1,9$ ($Y = 10^{\frac{1,9+0,05746}{0,7143}} = 550$ кг), максимальна амплітуда

да P – хвилі $A_{\max}^P = 0,56$ нм ($Y = 10^{1,076 \lg(0,56) + 1,4082 \lg(213) + 2,9358} = 520$ кг), потужність в тротиловому еквіваленті $Y = 520$ –550 кг.

Другий удар: час вступу – 07:04:15 (UTC + 0), енер-

гетичний клас $K = 5,6$ ($Y = 10^{\frac{5,6-1,2653}{1,5511}} = 623$ кг), магнітуда

$mb = 1,94$ ($Y = 10^{\frac{1,9+0,05746}{0,7143}} = 626$ кг), максимальна амплітуда

да P – хвилі $A_{\max}^P = 0,69$ нм ($Y = 10^{1,076 \lg(0,69) + 1,4082 \lg(213) + 2,9358} = 650$ кг), потужність в тротиловому еквіваленті $Y = 620$ –650 кг.

Час вступу: 07:54:39 (UTC + 0), епіцентральної відстань $\Delta = 40$ км, енергетичний клас $K = 4,0$, ($Y = 10^{\frac{4,0-1,2653}{1,5511}} = 58$ кг), магнітуда $mb = 1,2$ ($Y = 10^{\frac{1,2+0,05746}{0,7143}} = 58$ кг), максимальна амплітуда P – хвилі $A_{\max}^P = 0,65$ нм ($Y = 10^{1,076 \lg(0,65) + 1,4082 \lg(40) + 2,9358} = 58$ кг), потужність в тротиловому еквіваленті $Y = 50$ –60 кг.

Кількість вибухової речовини або її масу C при проведенні розрахунків, як правило, виражають через потужність в тротиловому еквіваленті Y . Значення потужності при цьому визначається за співвідношенням:

$$Y = K_{ef} C, \quad (15)$$

де: C – маса вибухової речовини, кг; K_{ef} – коефіцієнт приведення вибухової речовини до тротилу.

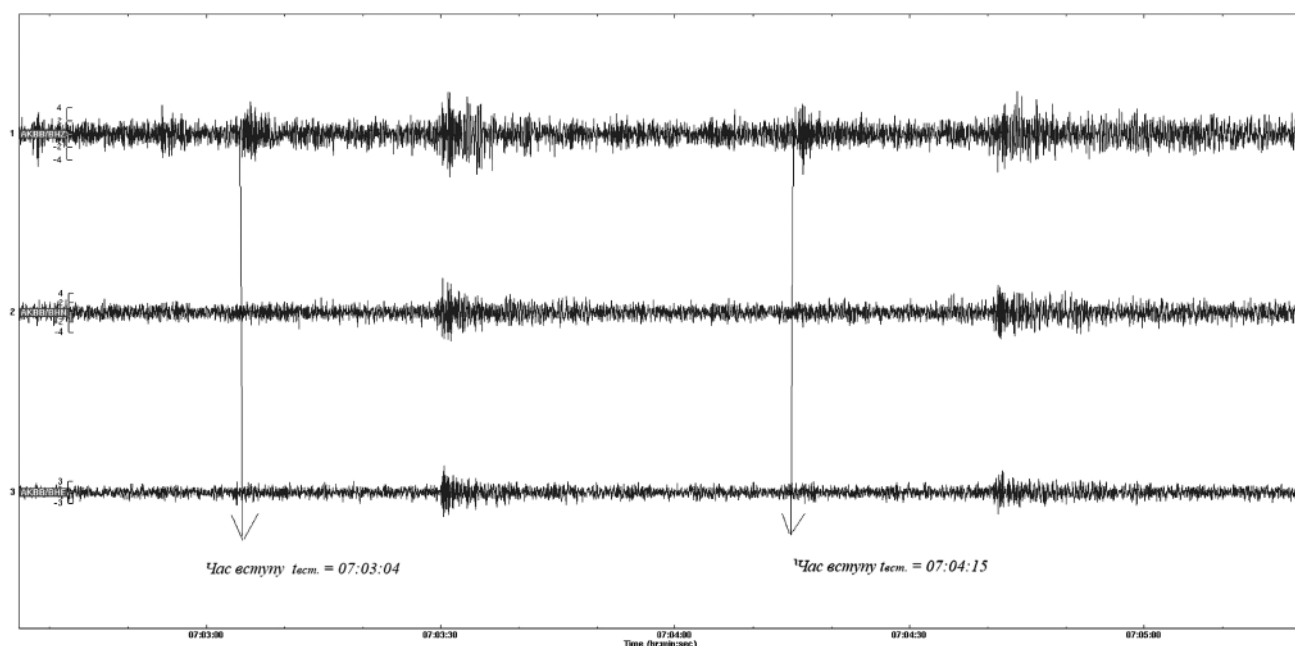


Рис. 2. Сейсмограма ракетного обстрілу м. Хмельницького 18 лютого 2023 року (2 ракетних удари) на елементах станції PS-45

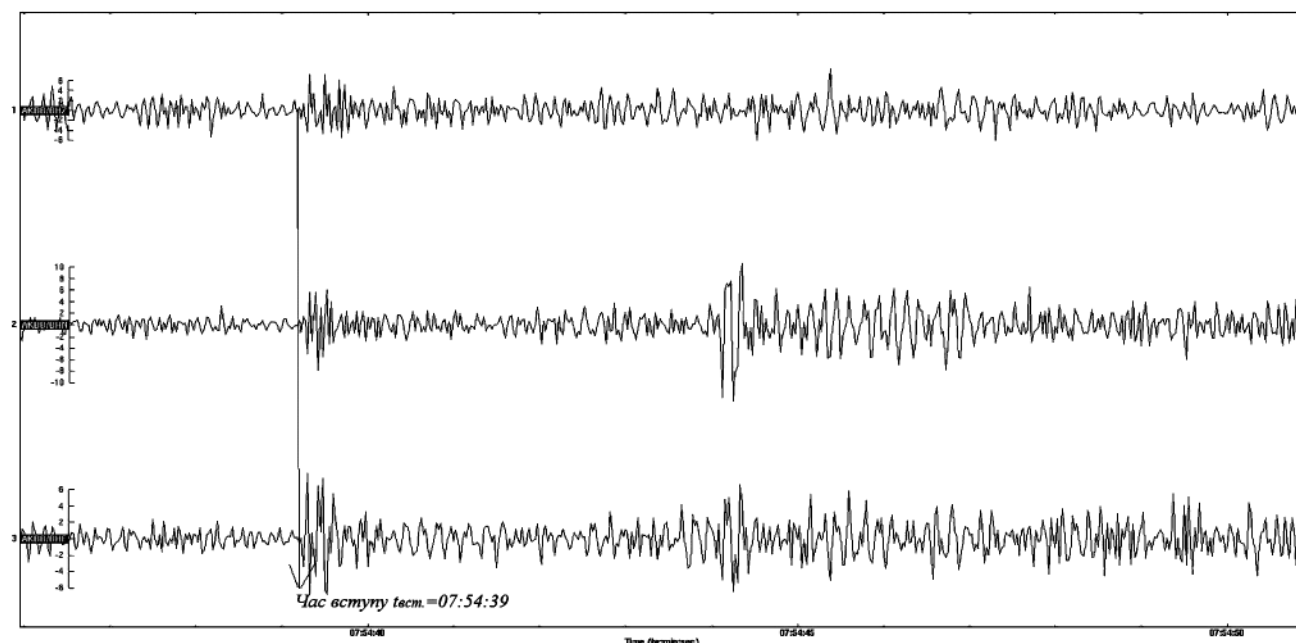


Рис. 3. Сейсмограма обстрілу дронами-комікадзе об'єкта інфраструктури в Київській обл. 10 жовтня 2022 року на елементах станції PS-45

Маса вибухової речовини зі співвідношення (15) визначається однозначно, але воно складено для вибуху, при якому ударна хвиля розповсюджується у вигляді сфери. Коли вибух відбувається на деякій поверхні, ударна хвиля розповсюджується в повітрі у вигляді півсфери. Для вибухів на абсолютно твердій поверхні вся енергія, що виділилася при вибуху, розповсюджується в межах півсфери і, отже, значення маси вибухаючої речовини як би подвоюється. Для вибуху на не абсолютно твердій поверхні, наприклад, на ґрунті, частина енергії витрачається на утворення воронки. Облік цієї витрати виконується за допомогою коефіцієнта η (наприклад, для ґрунту $\eta = 0,6$; для бетону $= 0,95$). Y в загальному випадку визначається за формулою [1]:

$$Y = 2\eta K_{ef} C, \quad (16)$$

з якої маса вибухової речовини C визначиться як:

$$C = Y(2\eta K_{ef})^{-1}. \quad (17)$$

Боєприпаси, в залежності від кількості вибухової речовини в них та її типу, мають різну потужність в тротиловому еквіваленті, тому, оцінивши кількісне значення потужності вибуху в тротиловому еквіваленті, можливе визначення ймовірного типу боєприпасу (авіаційні бомби, керовані (некеровані) ракети, артилерійські боєприпаси).

ВИСНОВКИ

Використавши сейсмограми вибухів різноманітних засобів ураження (наприклад, авіаційних бомб, бойових частин ракет, артилерійських боєприпасів тощо) на сейсмічних станціях Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України на основі аналізу статистичних даних про вибухи у Київській, Житомирській, Вінницькій, Хмельницькій, Чернігівській областях, потужності вибухів яких становили від декількох десятків до декількох сотен кілограм,

отримані функціональні залежності в тротиловому еквіваленті: потужності вибухів Y від енергетичного класу K ($Y = 10^{\frac{K-1,2653}{1,5511}}$); потужності вибухів Y від магнітуди mb ($Y = 10^{\frac{mb+0,05746}{0,7143}}$); потужності вибухів Y від максимального значення амплітуди поздовжньої фази сейсмічної хвилі A_{max}^P ($Y = 10^{1,0761g(A_{max}^P)+1,40821g(A)+2,9358}$).

Отримані емпіричні залежності дають змогу визначитися з питанням: до яких ймовірних типів належать застосовані засоби ураження (авіаційні бомби, ракети, артилерійські боєприпаси тощо)?

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Васильченко О.В., Квітковський Ю.В., Стельмах О.А. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій. Харків: ХНАДУ. 2015. 485 с.
2. Родіонов В.Н., Адушкін В.В., Костюченко В.Н. Механічний ефект підземного вибуху. М.: Надра. 1971. 224 с.
3. Кедров О.К. Сейсмічні методи контролю ядерних випробувань. Інст. фізики Землі РАН. 2005. С. 41.
4. Апин А.Я., Велина Н.Ф., Лебедев Ю.А. О полном использовании энергии взрыва. М.: ПМТФ. № 5. 1962. С. 96–106.
5. Шагов Ю.В. Взрывчатые вещества и пороха. М.: Воениздат. 1976. 120 с.
6. Haskell, N.A. (1967). Analytic approximation for the elastic radiation from a combined underground explosion. J. Geophys. Res. Vol. 72. № 10. Pp. 2583–2589.
7. Раутіан Т.Г. Про визначення енергії землетрусів на відстанях 3000 км. Пр. ІФЗ АН СРСР. 1964. № 32(199). С. 72–98.
8. Шаров Н.В., Маловічко А.А., Щукін Ю.К. Землетруси і мікросейсмічність в задачах сучасної геодинаміки Східно-Європейської платформи. Кн. 2: Мікросейсмічність. Петрозаводськ: Карельський наук. центр РАН. 2007. С. 19.

9. Khalturin, V.I., Rautian, T.G. & Richards, P.G. (1998). The seismic signal strength of chemical explosions. Bull. Seis. Soc. Am. December. Vol. 88. N 6. Pp. 1511–1524.
10. Richter, C. 1958. Elementary Seismology. W.H. Freeman. San Francisco. Calif. 578 p.
11. Anderson, J. & Wood, O. (1925). Description and theory of the torsion seismometer. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 15. Pp. 1–72.
12. Комашко О.В. Прикладна економетрика. Уч. Посібн. Київ: КНУ. 2004. 55 с.

REFERENCES

1. Vasylenko, O.V., Kvitykovskiy, U.V. & Stelmah, O.A. (2015), "Budivelni konstruktii ta ikh povedinka v umovakh nadzvuchainukh situatsii" [Building Structures and Their Behavior in Emergency Situations], HNADU. Kharkiv. 485 p.
2. Radionov, V.N., Adushkin, V.V. & Kostyuchenko, V.N. (1971), "Mekhanichniy efekt pidzemnogo vybukhu" [Mechanical Effect of Underground Explosion], NADRA. M. 224 p.
3. Kedrov, O.K. (2005), "Seismichni metody kontroliu yadernykh vyprobuvan" [Seismic Methods for Monitoring Nuclear Tests], IFZ RAN. 41 p.
4. Apin, A.J., Velina, N.F. & Lebedev, U.A. (1962), "O polnom ispolzovanii energii vzryva" [About the Full Use of the Energy of the Explosion], PMTF. M. № 5. 106 p.
5. Shagov, U.V. (1976), "Vzrychatye veshchestva i porokha" [Explosives and gunpowder], Voenizdat. M. 120 p.
6. Haskell, N.A. (1967). Analytic approximation for the elastic radiation from a combined underground explosion. J. Geophys. Res. Vol. 72. № 10. Pp. 2583–2589.
7. Rautian, T.G. (1964), "Pro vyznachennia energii zemletrusiv na vidstaniakh 3000 km" [About Determining the Energy of Earthquakes at Distances of 3000 km]. Works IFZ AN USSR. № 32(199). Pp. 72–98.
8. Sharov, N.V., Malovichko, A.A. & Shchukin, U.K. (2007). "Zemletrusu i mikroseismichnost v zadachakh suchasnoi geodinamiki Skhidno-Evropeiskoi platform" [Earthquake and micro seismicity in tasks modern geodynamics Eastern-European platform]. Kn. 2. Micro seismicity. Petrozavodsk. Karelskiy scientific centre RAN. P. 19.
9. Khalturin, V.I., Rautian, T.G. & Richards, P.G. (1998). The seismic signal strength of chemical explosions. Bull. Seis. Soc. Am. December. Vol. 88. N 6. Pp. 1511–1524.
10. Richter, C. (1958). Elementary Seismology. W.H. Freeman. San Francisco. Calif. 578 p.
11. Anderson, J. & Wood, O. (1925). Description and theory of the torsion seismometer. Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 15. Pp. 1–72.
12. Komashko, O.V. (2004), "Prykladna ekonometryka" [Applied econometric]. Textbook. KNU. K. 55 p.

**Osadchy V., Fesai O., Korniienko I.,
Grabchenko V., Rasstrygin O.**

METHODIC FOR ESTIMATING THE POWER OF VARIOUS EXPLOSIONS USING SEISMOGRAPHS TO DETERMINE THE LIKELY TYPE OF AMMUNITION

On February 24, 2022, the armed forces of the Russian Federation began a full-scale invasion of the territory of sovereign Ukraine. The seismological network of the Main Center of Special Control of the State Space Agency of Ukraine registered thousands of explosions (missile, aviation, artillery strikes) with a magnitude of mb exceeding 0.5. Based on the analysis of seismic signals registered by the stations of the seismological network of the Main Center of Special Control of the State Space Agency of Ukraine relations between energy classes were determined (K), magnitudes (mb), maximum amplitudes of longitudinal volume phases.

From many years of experience in studying underground, ground-based chemical explosions, it is known that a certain insignificant part of the energy (less than 5 %) is transferred to the zone of elastic deformations, including the formation of seismic oscillations. The scale of a seismic phenomenon by recording seismic waves at some distance from the source (an ammunition explosion) can be estimated by calculating the magnitude M or energy E.

Using seismograms of explosions of aerial bombs, missile warheads, artillery ammunition at seismic stations of the Main Center for Special Control of the State Space Agency of Ukraine on the basis of analysis of statistical data on explosions in Kyiv, Zhytomyr, Vinnytsia, Khmelnytsky, Chernihiv regions, the power of explosions of which ranged from several tens to several thousand kilograms, functional dependences were obtained: explosion power in TNT equivalent.

The obtained empirical dependencies make it possible to determine to which probable types the ammunition used belongs (aerial bombs, missiles, artillery ammunition).

Keywords: seismic station, seismic signal, seismic wave, explosion, ammunition, power in TNT equivalent, magnitude, energy class, maximum amplitude, explosive substance, amount of explosive substance.

Відомості про авторів:

Осадчий Володимир Іванович

провідний інженер відділу оперативного Головного центру спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України
смт. Городок, Україна
e-mail: viosadchuy@ukr.net

Фесай Олексій Олексійович

фахівець відділу регіональних спостережень Головного центру спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України
смт. Городок, Україна

<https://orcid.org/0009-0008-7611-9530>

e-mail: fessay44@gmail.com

Корнієнко Ігор Валерійович

заступник начальника Головного центру (начальник центру застосування засобів спеціального контролю) Національного центру управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України
смт. Городок, Україна

<https://orcid.org/0009-0006-8712-404X>

e-mail: igor.kornienko@ukr.net

Грабченко Валерій Володимирович

начальник відділу оперативного Головного центру спеціального контролю Національного центру управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України
смт. Городок, Україна

Расстригін Олександр Олексійович

доктор технічних наук, професор
Головний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна

<https://orsid.org/0000-0002-1483-6111>

e-mail: leks.rasstr@ukr.net

Information about the authors:

Osadchy Volodymyr

Leading Engineer of the Operational Department
Main Centre of Special Monitoring
National Space Facilities Control and Test Centre
State Space Agency of Ukraine
Gorodok, Ukraine
e-mail: viosadchuy@ukr.net

Fesai Oleksii

Specialist of the Department of Regional Observation Main Centre of Special Monitoring
National Space Facilities Control and Test Center
State Space Agency of Ukraine
Gorodok, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0008-7611-9530>

e-mail: fessay44@gmail.com

Korniienko Ihor

Deputy Chief of Main Centre of Special Monitoring
Main Centre of Special Monitoring
National Space Facilities Control and Test Center
State Space Agency of Ukraine
Gorodok, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0006-8712-404X>

e-mail: igor.kornienko@ukr.net

Grabchenko Valerii

Head of the Operational Department
Main Centre of Special Monitoring
National Space Facilities Control and Test Center
State Space Agency of Ukraine
Gorodok, Ukraine

Rasstrygin Oleksander

Doctor of Technical Sciences
Professor

Principal Researcher of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

<https://orsid.org/0000-0002-1483-6111>

e-mail: aleks.rasstr@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 25.05.2023.