

УДК 355.1

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.46-51>

П.П. Ткачук, О.В. Ємельянов

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТІВ НА ДИНАМІКУ РОБОЧОГО ОРГАНУ МІННОГО ТРАЛА

Аналіз досвіду застосування вибухових загороджень у зоні проведення операції Об'єднаних сил та Антитерористичної операції показав, що ні одна зі сторін не дотримується нормативів із встановлення мінно-вибухових загороджень. Зазвичай кількість мін, що має бути встановлена, перебільшує нормативну в кілька разів. А відтак, збільшується і ймовірність підриву бойової техніки на мінному полі.

Для розвідки та пророблення проходів у мінних загородженнях застосовують мінний трал КМТ-7, який стоїть на озброєнні Збройних Сил України. Але в даного трала є ряд недоліків:

по-перше, котковий блок витримує, як правило, два вибухи протитанкової міни серії ТМ-62 без заміни котків трала;

по-друге, керування танком ускладнюється через велику масу трала (7,5 тонн).

Для знешкодження мін з різними типами підричників запропоновано змінити конструкцію робочого органу трала. Сам тральний блок складається з дев'яти U-подібних важелів, на яких по обидва боки розташовані по одному диску у формі зрізаної сфери. Усі важелі зібрані на одному валу. Вал закріплений у стандартній рамі колійно-мінного трала КМТ-7. По краях колійних блоків розташовані два опорні котки, виготовлені у вигляді литих коліс зі сталі. При вибухах під одним з дисків інший кінець U-подібного важеля за рахунок заглиблення у ґрунт гасить енергію вибуху та зменшує динамічне навантаження на конструкцію трала в цілому. Така конструкція підвищує не тільки його живучість, але й за необхідності дозволяє проводити швидку заміну головного його елемента – робочого диска, що дає можливість ефективно експлуатувати трал навіть у випадках, коли один із робочих дисків вийшов із ладу. Перевагою даної конструкції є можливість підривати міни з підривниками, які спрацювають від подвійного натискання.

В статті розглянуто вплив основних фізико-механічних характеристик ґрунтів на динаміку модернізованого робочого органу мінного трала під час руху вздовж мінного поля (до і після вибуху міни), що є предметом досліджень роботи, звідки і випливає їх актуальність.

Ключові слова: мінний трал, робочий диск, динаміка робочого органу, фізико-механічні характеристики ґрунтів.

Постановка проблеми

Найбільш безпечним, з огляду на збереження життя і здоров'я людини, способом розмінування мінних полів та загороджень є їх знешкодження на місці залягання. З цією метою використовують мінні трали [18], а останні ж роки набувають розвитку дослідження, які направлені на використання технологій об'ємного вибуху. Існуючі на озброєнні у Збройних Силах України мінні трали, як правило, старого зразка і мають певні недоліки, які впливають на ефективність їх використання за прямим призначенням. До них в першу чергу треба віднести недостатню живучість та різну ефективність застосування їх під час розмінування мінних полів із різнотипними ґрунтами: від піщаних, суглинкових і до гравійного. Спектр фізико-механічними властивостей останніх є дуже широкий, а відтак – для спрацювання вибухового пристрою (міни) необхідні різні за величинами дії на поверхню ґрунту. У роботі [16] запропоновано модернізований

знешкоджуючий пристрій мінного трала у вигляді системи U-подібної форм коромисел із дисками на кінці. Вони, безпосередньо діючи на міну, чи через невеликий прошарок ґрунту, спричиняють до її вибуху за умови, що силова дія на останню є не меншою за мінімальне значення, необхідне для її спрацювання. Перевагою вказаного типу мінних тралів є те, що навіть при виході із ладу під час вибуху одного із робочих дисків, конструктивно передбачена його відносно проста заміна іншим. Величина ж заглиблення знешкоджуючих дисків у ґрунт (за сталої ваги навісної частини трала), як і динамічна їх дія через ґрунт на міну, залежить від фізико-механічних властивостей ґрунтів. Тому для випадку, наприклад, глинистих чи піщаних ґрунтів під час руху трала вона буде достатньою для спрацювання вибухового пристрою, в той же час для покриття із щебеню – недостатньою. До того ж, величина заглиблення робочих дисків у ґрунт залежить і від його вологості.

Саме дослідженню впливу основних фізико-механічних характеристик ґрунтів на динаміку модернізованого робочого органу мінного трала під час руху вздовж мінного поля (до і після вибуху міни) присвячена стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз публікацій [1-9] говорить про те, що тема розмінування місцевості від різного роду боєприпасів безумовно актуальна. Особливо, коли довгий час проходять бойові дії із застосуванням величезної кількості різного роду інженерних боєприпасів. В світі існує велика кількість машин, які працюють за різними принципами, але служать для однієї цілі, а саме робити проходи в мінних полях або проводити суцільне розмінування місцевості. Кожен із способів розмінування має свої недоліки та переваги.

Великої популярності набув метод пророблення проходів в мінних полях за допомогою об'ємного вибуху. Першими створили машину, яка робила проходи в мінних полях за допомогою об'ємного вибуху, американці. Це машина для розмінування M130 slufae. [19] Легкоброньована база машини була обладнана пусковою установкою з тридцятьма ракетами з об'ємно-детонуючою частиною. Залп ракет покривав велику площу мінного поля, а міни якщо не знищувались, то руйнувались як конструкція, що було великим плюсом. Але для даного методу характерна низка недоліків. Внаслідок великої маси ракети дальність польоту складала всього 100-150 м і якщо взяти до уваги, що машина не була броньованою, то виникала загроза життю членів екіпажу. До того ж після вибухів залишались великі вирви, які ускладнювали пересування техніки.

Аналіз наявних архівів Українського інституту інтелектуальної власності (Укрпатент) дозволяє зробити висновок, що вищевказаний спосіб розмінування популярний і в нашій країні [2-5]. Запропоновано багато варіантів застосування даного способу пророблення проходів, але вони відрізняються лише способом доставки вибухової речовини на ділянку розмінування. Але в залежності від способу доставки вибухової речовини на ділянку розмінування можуть виникати труднощі з ініціюванням вибуху в дощову та вітряну погоду. Сам спосіб вимагає майже впритул підходити до мінного поля, що може бути небезпечним для особового складу. Окрім того даний спосіб не дає гарантії повного очищення від мін. Отже можна зазначити, що спосіб дійсно дієвий, але потребує додаткового часу на перевірку саперними підрозділами, що збільшує загальний час на виконання операції [8, 9].

Перспективним є модернізація конструкції робочого органу мінного трала у вигляді системи U-

подібної форм коромисел із дисками на кінцях [1]. Вони безпосередньо діють на міну, спричиняючи її вибух. Перевагою такого підходу є те, що навіть при виході із ладу під час вибуху робочих дисків, другий ряд котків продовжить роботу. Дана конструкція дозволяє підривати міни з підривниками типу МВД-62, які вибухають від другого натискання протягом однієї секунди.

Формулювання мети статті

Метою роботи є дослідження впливу фізико-механічних характеристик ґрунтів на динаміку U-подібної форми робочого органу модернізованого мінного трала з дисками на кінцях (під час руху вздовж мінного поля, внаслідок вибухової дії на нього) для вибору основних характеристик, які забезпечують ефективну його роботу.

Виклад основного матеріалу

Представлені далі результати роботи базуються на:

- співвідношеннях, які описують механічні властивості ґрунтів та механізм взаємодії ґрунту та робочого диска трала;

- рівняннях кінетостатики для робочого органу мінного трала;

- співвідношеннях, які описують основні параметри ударної хвилі вибуху та її дію на U-подібної форм коромисло із дисками [10, 11, 15].

У залежності від основних параметрів мінного трала, фізико-механічних властивостей ґрунтів мінного поля, під час руху тральщика вздовж горизонтальної ділянки розмінування зі сталою швидкістю V можливі наступні випадки:

- величина проникнення робочих дисків у ґрунт є не меншою за глибину залягання міни, а величина сили їх тиску на ґрунт є достатньою для спрацювання міни;

- величина проникнення робочих дисків у ґрунт є дещо меншою за глибину залягання міни, а величина сили тиску ґрунту на міну під час руху робочого диску над міною є достатньою для її спрацювання;

- фізико-механічні властивості ґрунтів мінного поля є такі, що глибина проникнення робочих дисків у ґрунт є незначною і сила тиску останнього на міну під час проходження робочого диска над міною недостатня для її спрацювання.

Далі розглядаються два перші випадки з урахуванням наступних припущень:

- загальна вага мінного трала P і його дія передається на ґрунт рівномірно через систему N-подібної форм коромисел із дисками на кінцях;

- коромисла із дисками під час руху трала можуть повертатись навколо горизонтальної осі, а диски заглиблюючись у ґрунт "шукають" контакту із міною;

- внаслідок вибухової дії міни на трал (передній робочий диск) коромисло із дисками, повертаючись навколо горизонтальної осі, призводить до подальшого заглиблення у ґрунт другого робочого диска. Величина проникнення у ґрунт цього диска залежить від основних параметрів коромисла та фізико-механічних властивостей ґрунту;

- основні параметри робочих дисків – товщина d та радіус R ;

- пружні властивості ґрунту описуються лінійним співвідношенням (модуль пружності ґрунту – E).

Сили тиску робочих дисків на ґрунт мінного поля (до вибуху) за умови горизонтальної поверхні розмінування є однаковими і визначаються співвідношенням $F = \frac{P}{2N}$. Глибина проникнення їх у ґрунт Δ визначається залежністю

$$\Delta = \frac{1}{8(Ed)^2 R} \left(\frac{P}{2N} \right)^2 [15].$$

Таким чином, для знешкодження міни необхідно, щоб виконувались умови $\frac{P}{2N} \geq F^*$ та $\frac{1}{8(Ed)^2 R} \left(\frac{P}{2N} \right)^2 \geq \Delta^*$, де

відповідно Δ^* , F^* – глибина залягання міни та мінімальне зусилля, за якого вона спрацює. У випадку, коли величина проникнення робочих дисків у ґрунт є не меншою за глибину залягання міни, а величина сили їх тиску на ґрунт є достатньою для спрацювання міни, вага мінного траля визначається з умови

$$P = \max \left(2NF^*, 4\sqrt{2}NEd\sqrt{R\Delta^*} \right) \quad (1)$$

На рис. 1 представлено залежність ваги мінного траля, яка здатна знешкодити міну від глибини її залягання для різних типів ґрунтів:

$$E = 1 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}, E = 1,5 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}, E_c = 2 \cdot 10 \frac{H}{M^2},$$

$$N = 3, R = 0,3M, d = 0,003M - a);$$

$$E = 1 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}, E = 1,5 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}, E_c = 2 \cdot 10 \frac{H}{M^2},$$

$$N = 3, R = 0,35M, d = 0,003M - b);$$

$$E = 1 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}, E = 1,5 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}, E_c = 2 \cdot 10 \frac{H}{M^2},$$

$$N = 3, R = 0,3M, d = 0,004M - в);$$

$$E = 1 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}, E = 1,5 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2}, E_c = 2 \cdot 10 \frac{H}{M^2},$$

$$N = 3, R = 0,35M, d = 0,004M - з);$$

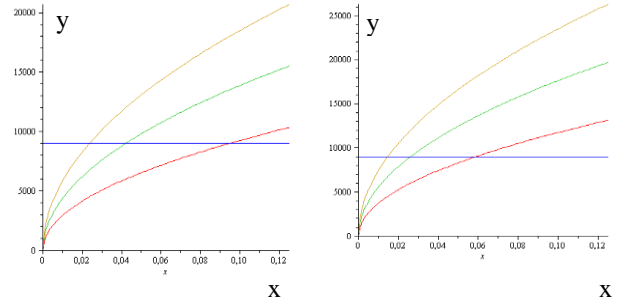


Рис. 1. Значення ваги траля необхідне для спрацювання міни за різних глибин її залягання та різних характеристик ґрунту (x – глибина залягання міни у м, y – вага траля P, Н)

Представляють інтерес дослідження впливу дії вибуху та фізико-механічних характеристик ґрунту мінного поля на динаміку зміни U-подібної форм коромисла із дисками. Приймаючи до уваги, що вибухова дія міни надає коромислу початкової кутової швидкості ω_0 [6, 10],

$$\omega_0 = \frac{\tau}{I_A} F(\varphi_0) L \sin \varphi_0,$$

де

$$F(\varphi_0) = d \int_{-R}^R \left[0,1 \frac{\sqrt[3]{C}}{\sqrt{R^2 - x^2}} + 0,43 \frac{\sqrt[3]{C^2}}{(\sqrt{R^2 - x^2})^2} + 1,4 \frac{C}{(\sqrt{R^2 - x^2})^3} \right] dx$$

$\tau = 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[5]{C} \cdot \sqrt{h + R - \Delta_{\max}}$, яка залежить як від геометричних параметрів коромисла, ваги його частин, глибини залягання міни, маси її заряду, диференціальне рівняння відносного обертального руху коромисла із дисками набуває вигляду [6]

$$I_A \frac{d^2 \phi}{dt^2} = -\frac{\bar{P}L}{2} \sin \phi - GL \sin \phi + \frac{\bar{P}L}{2} \sin(2\phi_0 - \phi) + \quad (2)$$

$$GL \sin(2\phi_0 - \phi) + 2RdE [L \sin(2\phi_0 - \phi) + R - \Delta_{cm}] L \sin(2\phi_0 - \phi),$$

де $\Delta_{cm} = \Delta$ – статична деформація ґрунту I_A – момент інерції коромисла відносно його горизонтальної осі обертання, G – вага дисків, P – вага коромисла.

На рис. 2 показана схема для розрахунку дії зовнішнього навантаження на коромисла після вибуху міни.

Рішення диференціального рівняння (2) за початкових умов

$$\phi(t)|_{t=0} = \varphi_0, \dot{\phi}(t)|_{t=0} = \omega_0 \quad (3)$$

є завданням проблематичним. Розглянемо більш практичну і одночасно важливішу з огляду на стійкість руху мінного траля задачу, а саме знайдемо максимальний кут повороту коромисла

для даного типу ґрунтів, який зумовлений початковою швидкістю ω_0 (безпосереднім контактом робочого диска із міною).

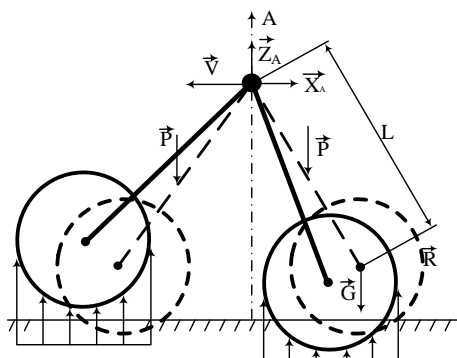


Рис. 2. Розрахункова схема дії зовнішнього навантаження на коромисла після вибуху міни

Надалі під втратою стійкості руху мінного трала вважається випадок, для якого максимальний кут повороту U-подібної форми коромисла із дисками зумовлений вибуховою дією є рівним $\phi_0 - \Delta\phi$, $\Delta\phi$ – мала величина і визначається конструкцією трала.

Щоб знайти максимальне значення кута повороту коромисла, зумовленого вибухом (2), маємо співвідношення

$$I_A (\tau F(\phi_0) L \sin \phi_0)^2 = (\bar{P} + 2G)L(\cos \phi_1 + \cos(2\phi_0 - \phi_1)) - (2\bar{P} + 4G)\cos \phi_0 + 2RdE \int_{\phi_0}^{\phi_1} [L \sin(2\phi_0 - \phi) + R - \Delta_{cm}] L \sin(2\phi_0 - \phi) d\phi. \tag{4}$$

Таким чином, якщо значення параметра ϕ_1 , яке задовольняє рівнянню (4) є меншим за $\phi_0 - \Delta\phi$, то рух мінного трала буде стійким. Нижче у табл. 1 на базі рішення рівняння (4) представлено чисельні дані значення кута повороту коромисла трала для різних параметрів мінного трала, характеристик ґрунтів, величини заряду міни.

Таблиця 1

Значення кута повороту коромисла мінного трала при різних геометричних розмірах U-подібної форми коромисла із дисками, характеристиках ґрунтів та величинах заряду міни

№ з/п	R, м	d, м	E, Н/м ²	P, Н	P ₂ , Н	Δ, м	ω, с ⁻¹	Q, кгс	φ ₁ , рад
1.	0,3	0,003	750000	7000	4 166,66	0,1120	48,5	5	0,7903
2.	0,3	0,004	750000	10000	555,55	0,1286	64,669	5	0,7958
3.	0,3	0,004	1000000	13000	722,22	0,1225	64,669	5	0,7903
4.	0,3	0,004	1500000	20000	1 027,78	0,1286	64,669	5	0,7848
5.	0,3	0,004	2000000	26000	1 444,44	0,12225	64,669	5	0,7821
6.	0,3	0,003	2000000	20000	1 111,11	0,1286	48,5	5	0,7814
7.	0,3	0,003	2500000	24000	1 333,33	0,1185	48,5	7,5	0,7789
8.	0,3	0,003	2500000	24000	1 333,33	0,1185	77,76	10	0,7883
9.	0,3	0,003	2500000	24000	1 333,33	0,1185	108,71	10	0,8056
10.	0,3	0,004	2500000	32000	1 777,78	0,1185	144,95	10	0,8171
11.	0,3	0,004	3500000	44000	2 444,44	0,1143	144,95	8	0,8041
12.	0,3	0,004	3500000	44000	2 444,44	0,1143	111,78	8	0,79027

13.	0,35	0,004	3500000	48000	2 666,67	0,1166	103,54	10	0,7878
14.	0,35	0,004	3500000	48000	2 666,67	0,1166	134,16	12,5	0,7996
15.	0,35	0,004	3500000	48000	2 666,67	0,1166	174	10	0,8224
16.	0,35	0,004	3000000	42000	2 333,33	0,1215	134,27	12,5	0,8041
17.	0,35	0,004	3000000	42000	2 333,33	0,1215	174,12	7,5	0,8315
18.	0,35	0,004	3000000	42000	2 333,33	0,1213	96,048	10,5	0,7876
19.	0,35	0,004	2000000	28000	155,55	0,1215	142,12	7,5	0,9852
20.	0,35	0,004	2000000	28000	155,55	0,125	96	5	0,8938
21.	0,35	0,004	2000000	28000	155,55	0,123	59	10	0,8688
22.	0,35	0,004	2000000	23000	1 277,78	0,08	134	7,5	0,9562
23.	0,35	0,004	2000000	23000	1 277,78	0,008	96	5	0,8938
24.	0,35	0,004	2000000	23000	1 277,78	0,008	71,1938	5	0,8672
25.	0,35	0,003	2000000	17000	283,33	0,008	44,93	7,5	0,8658
26.	0,35	0,003	2000000	17000	283,33	0,0083	72,036	10	0,8838
27.	0,35	0,003	2000000	17000	283,33	0,0083	100,7034	7,5	0,9234
28.	0,35	0,003	1500000	13000	722,22	0,0083	72,036	10	0,9562
29.	0,35	0,003	1500000	13000	722,22	0,0083	100,036	5	0,8638
30.	0,35	0,003	1500000	13000	722,22	0,007964	44,93	5	0,3784
31.	0,35	0,003	1000000	13000	472,22	0,007914	72	7,5	0,91

Висновки

Отримані результати показують, що використання у мінному тралі запропонованого модернізованого робочого органу у вигляді U-подібної форми коромисел із дисками на кінцях дозволяє зменшити загальну його вагу у порівнянні із наявними на озброєнні у ЗСУ тралами, а відтак підвищити (покращити) маневреність при зберіганні бойової ефективності.

Список літератури

1. Котковий мінний трал: пат. 144222 Україна: МПК F41H 11/12 (2011.01). № u202002947; заявл. 18.05.2020; опубл. 10.09.2020, Бюл. № 17/2020.
2. Спосіб розмінування мінно-вибухових загороджень: пат. 78083 Україна: МПК F41H 11/00. № a200501563; заявл. 21.02.2005; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.
3. Спосіб розмінування місцевості: пат. 81358 Україна: МПК F41H 11/00. № u 2013 00813; заявл. 23.01.2013; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.
4. Спосіб розмінування мінно-вибухових загороджень: пат. 94063 Україна: МПК F41H 11/14, F41H 11/18. № a200805685; заявл. 30.04.2008; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.
5. Пристрій ударно-безконтактного розмінування: пат. 125326 Україна: МПК F41H 11/12. № u 2017 11011; заявл. 10.11.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9.
6. Орленко Л. П. Фізика взрива. Москва: ФИЗМАТЛИТ. 2006. 394с.
7. Фролов О. О., Тур С. В. Розрахунок значень тиску на фронті ударної хвилі при руйнуванні гірських порід вибухом. Вісник НТУУ "КПІ" серія "Гірництво". Київ, 2009, №18, С. 43-47.
8. Серпухов О.В. Математичне моделювання розмінування об'ємним вибухом. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків, 2010. № 4(26), С. 222-224. ISSN 2073-7378 (дата звернення: 14.07.2020).
9. Ларіонов В. В., Хом'як К. М., Казмірчук Р. В., Івахів О. С., Платонов М. О., Стаднічук О. М. Аналіз розвитку та основні тенденції застосування термобаричних боеприпасів. Військово-технічний збірник. Львів, 2016. № 15, С. 28-31.

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.15.2016.28-31>. (дата звернення: 14.09.2020).

10. Ремез Н. С. Взаємодія вибухових хвиль з ґрунтами і елементами техноурбоєкосистем : монографія. Київ : КПІ, 2019. 335 с.

11. Павловський М. А. Теоретична механік. *Техніка*, 2002. 512 с.

12. Крамаренко В. В. Ґрунтоведение. Москва: *Юрайт*. 2018. 430 с

13. Костюченко М. М. Механіка ґрунтів. Київ: інтернет-ресурс Київського ун-ту. URL: geol.univ@kiev.ua 116 с.

14. Дикань С. Д., Зима О. Є. Безпека в галузі та надзвичайних ситуаціях. Полтава: *ТОВ АСМІ*. 2005. 273с.

15. Ляшко І. І., Боярчук О. К., Гай Я. Г., Калайда О. Ф. Диференціальні рівняння. Київ: *Вища школа*, 1981. 504 с.

16. Нанівський Р. А., Ємельянов О. В. Дослідження кінематики робочого органа траля під час руху по мінному полю з нерівностями. *Військово-технічний збірник* Львів: НАСВ, 2019. № 21. С. 24-28. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.24-28>. (дата звернення: 20.07.2019).

17. Жуйков Д. М., Коритченко К. В. Експериментальна методика дослідження танкової системи розмінування об'ємним вибухом. *IX Міжнар. наук.-практична студентська конф. Матеріали конф. (Ч.2)*. 2015. с. 26-27.

18. Машины инженерного вооружения. Часть 3. Машины для ведения инженерной разведки, преодоления и устройства минно-взрывных заграждений, обеспечения войск водой / под ред. Г. В. Кретицина. – Москва: *Военное издательство*, 1987. 424 с.

19. Установакa розмінування M130 SLUFAE (США). *Военное обозрение*. URL: <https://topwar.ru/138362-ustanovka-razminirovaniya-m130-slufae-ssha.html> (дата звернення 08.05.2020).

References

1. Patent of Ukraine (2020), "Kotkovij mi`nnij tral" [Rolling mine trawl]. Patent 144222 Ukraine, IPC F41H 11/12 (2011.01). № u202002947; stated 18.05.2020; published 10.09.2020, Bulletin № 17/2020. [in Ukrainian].
2. Patent of Ukraine (2007), "Sposi`b rozmi`nuvannya mi`nno-vibukhovikh zagorodzen`" [Method of demining of minefields]. Patent 78083 Ukraine, IPC F41H 11/00. № a200501563; stated 21.02.2005; published 15.02.2007, Bulletin № 2. [in Ukrainian].
3. Patent of Ukraine (2013), "Sposi`b rozmi`nuvannya mi`sčevosti`" [Method of demining the area]. Patent 81358 Ukraine, IPC F41H 11/00. № u 2013 00813; stated 23.01.2013, published 25.06.2013, Bulletin № 12. [in Ukrainian].
4. Patent of Ukraine (2011), "Sposi`b rozmi`nuvannya mi`nno-vibukhovikh zagorodzen`" [Method of demining of minefields]. Patent 94063 Ukraine, IPC F41H 11/14, F41H 11/18. № a200805685; stated 30.04.2008; published 11.04.2011, Bulletin № 7. [in Ukrainian].
5. Patent of Ukraine (2018), "Pristi`j udarno-bezkontaktnogo rozmi`nuvannya" [Impact-contact demining device]. Patent 125326 Ukraine, IPC F41H 11/12. № u 2017 11011; stated 10.11.2017; published 10.05.2018, Bulletin № 9. [in Ukrainian].
6. Orlenko, L.P. (2006), "Physics of explosion" [Fizika vzy`va], *FIZMATLIT*, 394 p. [in Russian].
7. Frolov O.O and Tur S.V. (2009), "Rozrakhunok znachen` tisku na fronti` udarnoyi khvili` pri rujnuvanni` gi`rs`kikh pori`d vibukhom" [Calculation of pressure values at the front of the shock wave during the destruction of rocks by explosion]. *Herald NTUU "KPI" series "Mining"*, № 18, pp. 43-47.
8. Serpuhov O.V. (2010), "Matemachne modelyuvannya rozmi`nuvannya ob'yemnim vibukhom" [Mathematical modeling of demining by volume explosion.]. *Collection of scientific works of Kharkiv University of the Air Force*, № 4(26), pp. 222-224. ISSN 2073-7378 (Accessed 14 July 2020). [in Ukrainian].
9. Larionov V.V. etc (2016), "Anali`z rozvitku ta osnovni` tendenci`yi zastosuvannya termobarichnikh boyepripasi`v" [Development analysis and main trends in the use of thermobaric ammunition]. *Military-technical collection Army academy*, № 15, pp. 28-31. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.15.2016.28-31> (Accessed 14 September 2020). [in Ukrainian].
10. Remez N.S. (2019), "Vzayemodi`ya vibukhovikh khvil` z g`runtami i` elementami tekhnourboecosistem" [Interaction of blast waves with soils and elements of technorboecosystems] : monograph, Kiev, KPI, 335 p. [in Ukrainian].
11. Pavlovsky M.A. (2002), "Teoretichna mekhanika" [Theoretical mechanics] : Machinery, 512 p. [in Ukrainian].
12. Kramarenko, V.V. (2018), "Gruntovedenie" [Soil science]: Jurayt, 430 p. [in Ukrainian].
13. Kostjychenko M.M. Soil science. Mekhani`ka grunti`v" [Soil mechanics]: Internet resource of Kyiv University. URL: geol.univ@kiev.ua 116 p. [in Ukrainian].
14. Dykanj S.D. and Zima O.E. (2005), "Bezpeka v galuzi` ta nadzvichajnikh situaczi`yakh" [Safety in the industry and emergencies]: Poltava, ACMI. 273p. [in Ukrainian].
15. Ljyashko I.I., Bojarchuk O.K., Hay J.G. and Kalayda O.F. (1981), "Diferenci`al`ni` ri`vnyannya" [Differential equations]: Kiev, High school, 504 p. [in Ukrainian].
16. Nanivskiy R.A. and Yemelianov O.V. (2019), "Dosli`dzhennya ki`nematiki robochogo organa trala pi`d chas rukhu po mi`nnomu polyu z neri`vnostyami" [Research of kinematics of the working body of the trawl while driving on a minefield with irregularities]. *Military Technical Collection Lviv*, 2019. Issue № 21. pp. 24-28. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.24-28>. (Accessed 20 July 2020). [in Ukrainian].
17. Zhujkov D.M. and Koritchenko K.V. (2015), "Eksperimental`na metodika dosli`dzhennya tankovoyi sistemi rozmi`nuvannya obyemnim vibukhom" [Experimental method of research of tank system of demining by volume explosion]. *IX International scientific-practical student conference of undergraduates. Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Kharki`v*. pp. 26-27.
18. Engineering weapons vehicles. Part 3. (1987), "Mashiny` dlya vedeniya inzhenernoj razvedki, preodoleniya i ustrojstva minno-vzry`vny`kh zagrazhdenij, obespecheniya vojsk vodoj" [Vehicles for engineering reconnaissance, overcoming and setting up mine-explosive obstacles, providing troops with water]. *Voennoe yzdatelstvo*, Moskva, 424 p. [in Russian].
19. "Ustanovka razminirovaniya M130 SLUFAE (USA)" (2018), [Installation of mine clearance M130 SLUFAE (USA)]. *Military review*. URL: <https://topwar.ru/138362-ustanovka-razminirovaniya-m130-slufae-ssha.html> (Accessed 08 May 2020). [in Ukrainian].

Влияние характеристик грунта на динамику рабочего органа минного трала

П.П. Ткачук, А.В. Емельянов

Анализ опыта использования взрывных заграждений в зоне проведения операции Объединенных сил и Антитеррористической операции показал, что ни одна из сторон не соблюдает нормативов по установлению минно-взрывных заграждений. Обычно количество мин, которое должно быть установлено, превышает нормативное в несколько раз. Следовательно увеличивается и вероятность подрыва боевой техники на минном поле.

Для разведки и проделывания проходов в минных заграждениях применяют минный трал КМТ-7, который стоит на вооружении Вооруженных Сил Украины. Но у данного трала есть ряд недостатков:

во-первых, катковый блок выдерживает, как правило, два взрыва противотанковой мины серии ТМ-62 без замены катков трала;

во-вторых, управление танком осложняется из-за большой массы трала (7,5 тонн).

Для обезвреживания мин с различными типами взрывателей предложена измененная конструкция рабочего органа трала. Сам тральный блок состоит из девяти U-образных рычагов, на которых с обеих сторон расположены по одному диску в форме усеченной сферы. Все рычаги собраны на одном валу. Вал закреплен в стандартной раме колейно-минного трала КМТ-7. По краям колейных блоков расположены два опорных катка, изготовленные в виде литых колес из стали. При взрывах под одним из дисков другой конец U-образного рычага за счет углубления в почву гасит энергию взрыва и уменьшает динамическую нагрузку на конструкцию трала в целом. Такая конструкция относительно проста в изготовлении, повышает не только его живучесть, но и при необходимости позволяет проводить быструю замену главного его элемента – рабочего диска, дает возможность эффективно эксплуатировать трал даже в случаях, когда один из рабочих дисков вышел из строя. Преимуществом данной конструкции является возможность подрывать мины с взрывателями, которые срабатывают от двойного нажатия.

В статье рассмотрено влияние основных физико-механических характеристик грунтов на динамику модернизированного рабочего органа минного трала при движении вдоль минного поля (до и после взрыва мины), что является предметом исследований работы, откуда и следует их актуальность.

Ключевые слова: минный трал, рабочий диск, динамика рабочего органа, физико-механические характеристики грунтов.

Influence of soil characteristics on working dynamics mining tral authority

Tkachyck P., Yemelianov A.

The safest way to clear mines and barriers, in terms of saving human life and health, is to clear them at the site. Minesweepers are being used for this purpose, and in recent years they have gained extensive research, which is aimed at the use of large-scale explosion technology. Existing minesweepers in the Armed Forces of Ukraine, as a rule, are old-fashioned, and have certain shortcomings that affect the efficiency of their direct use. These include, first of all, insufficient survivability and different efficiency of their use during demining of minefields with different types of soils: from sandy, loamy and gravel. The range of physical and mechanical properties of the latter is very wide, and therefore - for the operation of an explosive device (mine) requires different amounts of action on the soil surface. The modernized mine trawl neutralizing device in the form of a system of U-shaped rockers with disks at the end is proposed in the work. They, acting directly on the mine, or through a small layer of soil, cause it to explode, provided that the force on the latter is not less than the minimum value required for its disposal. The advantage of this type of mine trawl is that even if one of the working disks fails during the explosion, it is structurally relatively easy to replace it with another. The magnitude of the deepening of the neutralizing disks into the soil (at a constant weight of the mounted part of the trawl), as well as their dynamic action through the soil on the mine depends on the physical and mechanical properties of the soil. Therefore, for the case of, for example, clay or sandy soils during the movement of the trawl, it will be sufficient for the operation of the explosive device, at the same time for the coating of gravel - insufficient. In addition, the amount of deepening of the working disks in the soil depends on its humidity.

The study of the influence of the main physical and mechanical characteristics of soils on the dynamics of the modernized mine trawl neutralizing device during movement along the minefield (before and after the mine explosion) is the subject of research, hence their relevance.

Keywords: mine trawls, dynamics of the working body, physical and mechanical characteristics of soils.