

¹Михайло Олексійович Шишанов (д-р техн. наук, професор)²Володимир Іванович Коцюруба (канд. військ. наук, с.н.с, доцент)¹Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна²Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

БАЛІСТИЧНА МОДЕЛЬ ТРАЛЕННЯ ВИБУХОВИХ ПРИСТРОЇВ З НАТЯЖНИМ ДАТЧИКОМ ЦІЛІ

На основі аналізу існуючих підходів щодо моделювання процесів розмінування, зокрема використання засобів для тралення вибухових пристроїв з натяжними датчиками цілі, запропонована балістична модель, яка, на відміну від існуючих, враховує приріст питомої маси засобу для тралення (комбінація елемента, що тралить, і тросу) під час польоту. Одним із найбільш складних питань під час моделювання є визначення залежності параметрів польоту елемента, що тралить, від динаміки приросту маси тросу. Балістичними параметрами елемента, що тралить, які досліджуються, є: кут вильоту, дальність, висота, час, швидкість польоту. Запропоновані удосконалення математичної моделі та послідовності проведення розрахунків дозволять підвищити точність результатів моделювання процесу тралення вибухових пристроїв з натяжними датчиками цілі під час обґрунтування вимог до засобів розмінування даного типу. Напрямами подальших досліджень є математичне моделювання процесу польоту елемента, що тралить, які входять до складу засобів для тралення вибухових пристроїв з натяжними датчиками цілі, та обґрунтування, на основі використання його результатів, раціональних балістичних параметрів

Ключові слова: балістична модель; вибуховий пристрій; натяжний датчик цілі; тралення; засіб для тралення.

Вступ

В результаті ведення наземної мінної війни на сході нашої країни [1] значна площа території місцевості виявилася замінованою. Більшість вибухових пристроїв (ВП), які використовувались, оснащені натяжними датчиками цілі. Точні відомості про місця їх встановлення відсутні. Тому такі ВП становлять велику загрозу для військ, які ведуть бойові дії, унеможлижують використання території місцевості та замінованих об'єктів у господарчих цілях.

Постановка проблеми. Одним із найбільш ефективних способів протидії ВП даного типу залишається їх тралення, яке у Збройних Силах України здійснюється закиданням на заміновану ділянку місцевості елемента, що тралить (ТЕ), («кішки») вручну із подальшим його підтягуванням за допомогою тросу. Але такий варіант виконання завдання має низку серйозних недоліків, серед яких основними є великий ризик для особового складу, низька точність попадання ТЕ, обмеження щодо використання таких засобів у забудованій та залісеній місцевості. Визначені недоліки можуть бути усунуті за рахунок впровадження в практику розмінування місцевості та об'єктів перспективних засобів тралення ВП із натяжним датчиком цілі. За таких умов постає проблемне питання обґрунтування вимог до засобів розмінування даного типу із врахуванням балістичних параметрів процесу дистанційного тралення. Актуальність останнього підтверджується вимогами керівних документів

[2-4] та набутим досвідом [1,5]. Вирішення визначеного проблемного питання стає можливим за рахунок моделювання із використанням удосконаленого науково-методичного апарату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанням дослідження процесу тралення ВП із натяжним датчиком цілі приділялася недостатня увага. Так в [5] розглядається порядок дій підрозділів на території де можливе застосування саморобних вибухових пристроїв в тому числі і з натяжними датчиками цілі. Оцінювання ефективності подовжених зарядів розмінування розглянуті в [6], згідно з чим ефективність зосереджених, подовжених та сітчастих зарядів розмінування оцінюється з боку впливу вибуху на міну. Крім того оцінюється вибухостійкість інженерних боєприпасів із натяжними датчиками цілі. Механічне тралення у роботах [5,6] не розглядається. У [7] розглянута задача визначення параметрів польоту тіла кинутого під кутом до горизонту, яка може бути покладена в основу балістичної моделі тралення ВП з натяжним датчиком цілі. На відміну від тіла, яке розглядається у [7], в нашому випадку сума маси ТЕ m і питомої маси тросу $m_{\delta\delta}$ під час польоту буде змінюватись внаслідок витягування (зміни довжини l) останнього. Отже, для визначення балістичних параметрів засобу для тралення (ЗТ) під час їх використання підхід [7] потребує удосконалення.

Враховуючи вищезазначене метою статті є висвітлення основних положень розробленої

балістичної моделі тралення вибухових пристроїв з натяжним датчиком цілі в умовах змінної маси ЗТ.

Виклад основного матеріалу дослідження

Одним із найбільш складних питань під час моделювання є визначення залежності параметрів

польоту ТЕ від динаміки збільшення маси $m(x)$ ЗТ (комбінація ТЕ і тросу).

На початок умовно представимо ТЕ як тіло постійної маси кинуте під кутом. Розрахункова схема метання такого тіла представлена на рис. 1.

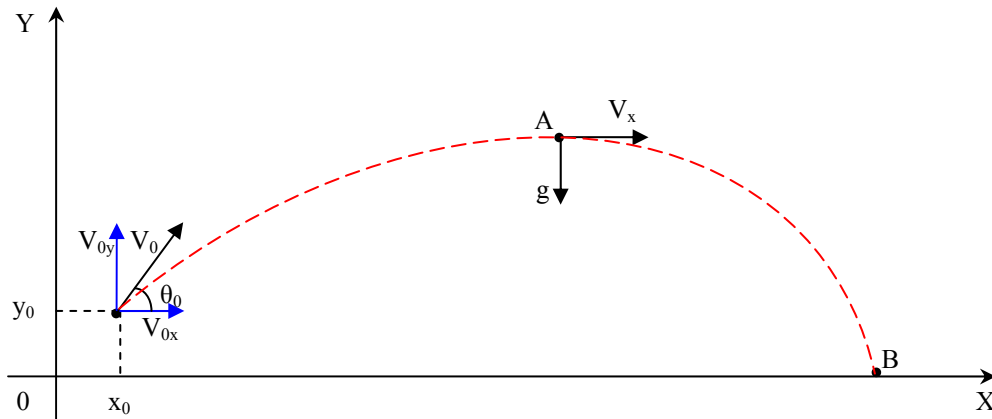


Рис. 1. Побудова траєкторії польоту тіла, кинутого під кутом.

До балістичних параметрів польоту ТЕ відносяться: кут вильоту θ_0 , максимальна дальність L , висота H , час T , швидкість V_x польоту ТЕ.

ТЕ, отримавши початкову швидкість V_0 , рухається у середовищі, що чинить опір, по деякій траєкторії до тих пір, доки не впаде на землю. Для дослідження параметрів визначеної траєкторії побудуємо рівняння польоту ТЕ, які кинуті під кутом θ_0 з початковою швидкістю V_0 , на основі схеми (рис. 1).

Розглянемо рух ТЕ, кинутого під кутом θ_0 з початковою швидкістю V_0 . Проецируємо початкову швидкість \vec{V}_0 та прискорення \vec{a} на осі X та Y . Проекція початкової швидкості на вісь X дорівнює $V_{0x} = V_0 \cdot \cos \theta_0$. Проекція прискорення $a_x = 0$, оскільки вектор \vec{g} перпендикулярний осі X . Тому рух ТЕ вздовж осі X буде рівномірним. Проекція швидкості V_x та координата x ТЕ, що летить, визначається співвідношеннями

$$V_x = V_0 \cdot \cos \theta_0, \\ x = x_0 + V_0 \cdot t \cdot \cos \theta_0.$$

Проекція початкової швидкості на вісь Y дорівнює $V_{0y} = V_0 \cdot \sin \theta_0$. Проекція прискорення $a_y = -g$, оскільки вектор \vec{g} спрямований у протилежному осі Y напрямку. Тому вздовж осі Y рух ТЕ рівнозмінний. В цьому випадку проекція швидкості V_y та координата y ТЕ, що летить, задається формулами

$$V_y = V_0 \cdot \sin \theta_0 - g \cdot t,$$

$$y = y_0 + V_0 \cdot t \cdot \sin \theta_0 - \frac{g \cdot t^2}{2}. \quad (1)$$

Коли ТЕ досягне точки A (рис. 1), тобто максимальної висоти підйому, проекція його швидкості на вісь Y буде рівною $V_y = 0$. Тоді час підйому до максимальної висоти $t_1 = V_0 \cdot \sin \theta_0 / g$. Враховуючи це значення максимальна висота польоту ТЕ дорівнює

$$H_{\max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0}{2g}. \quad (2)$$

Якщо ТЕ кинутий з поверхні ґрунту ($y_0 = 0$), тоді загальний час польоту буде рівний часу підйому

$$T = \frac{2V_0 \cdot \sin \theta_0}{g} = 0,903 \sqrt{H_{\max}}. \quad (3)$$

Відстань L , яку пролітає ТЕ за певний час, визначається підстановкою часу t_0 польоту у залежність $x(t)$: $L = x_0 + V_0 \cdot t_0 \cdot \cos \theta_0$. При $x_0 = 0$ та $y_0 = 0$ дальність польоту ТЕ дорівнює

$$L = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\theta_0}{g}. \quad (4)$$

Максимальна дальність польоту тіла, яке кинуте з поверхні землі, згідно [7] досягається при куті кидання $\theta_0 = 45^\circ$, оскільки в цьому випадку $\sin 2\theta_0 = 1$.

Визначимо, по якій траєкторії рухається ТЕ, тобто складемо рівняння, яке зв'яже між собою координати ТЕ по осях x та y . Для цього виразимо час із залежності $x(t)$

$$t = \frac{x - x_0}{V_0 \cdot \cos \theta_0}$$

та підставимо його до формули (1)

$$y = y_0 + V_0 \left(\frac{x - x_0}{V_0 \cdot \cos \theta_0} \right) \cdot \sin \theta_0 - \frac{g}{2} \left(\frac{x - x_0}{V_0 \cdot \cos \theta_0} \right)^2 = y_0 + (x - x_0) \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{g(x - x_0)^2}{2V_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0}.$$

Якщо вибрати систему координат таким чином, що $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, тоді формула спрощується

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{g \cdot x^2}{2V_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0}. \quad (5)$$

Врахування характеристик ТЕ та сили опору повітря швидкість польоту визначається виходячи із експоненціального закону затухання швидкості ТЕ при польоті тіла та здійснюється за виразом

$$V_x = V_0 \cdot \exp(-A \cdot x), \quad (6)$$

де A – балістичний коефіцієнт;

x – змінна координата відстані польоту ТЕ.

Коли політ ТЕ відбувається в умовах поступового збільшення ваги пристрою, що тралить, поточна швидкість польоту буде зменшуватись більш ніж при польоті тіла з постійною (не змінною) масою для таких саме умов. Це можна врахувати шляхом удосконалення виразу, який наведено в [7], для визначення балістичного коефіцієнта A . В роботі його пропонується визначати із врахуванням зміни маси пристрою, що тралить, за формулою

$$A(x) = \frac{\rho_{\text{п}} \cdot c_x \cdot \Phi}{\sqrt[3]{8\gamma_0^2 \cdot (m + 1 \cdot m_{\text{тр}})}} \approx \frac{\rho_{\text{п}} \cdot c_x \cdot \Phi}{\sqrt[3]{8\gamma_0^2 \cdot (m + x \cdot m_{\text{тр}})}}, \quad (7)$$

Література

1. Інформаційний бюлетень з протимінної діяльності у ході проведення АТО у Донецькій та Луганській областях. – К.: ГУОЗ, 2014. – 16 с. **2. Конвенція** про заборону застосування, накопичення запасів, виробництва і передачі протипіхотних мін та про їхнє знищення. – К.: Варта, 2004. – 25 с. **3. Закон України** від 22.12.04 №2281-IV “Про прийняття Протоколу про вибухонебезпечні предмети – наслідки війни”. **4. Спільний наказ** Міністра оборони України, Міністра України з питань надзвичайних ситуацій та в справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Голови Державного комітету в справах

де $\rho_{\text{п}}$ – щільність повітря вздовж траєкторії польоту (для повітря дорівнює $1,293 \text{ кг/м}^3$);

c_x – коефіцієнт лобового опору;

γ_0 – щільність матеріалу ТЕ;

m – маса ТЕ;

Φ – параметр форми ТЕ;

l – змінна довжина тросу пристрою, що тралить, m (може бути прийнята $l \approx x$);

$m_{\text{тр}}$ – питома маса тросу, кг/м .

Тоді вираз (5) буде мати вигляд

$$V_x = V_0 \cdot \exp(-A(x) \cdot x). \quad (8)$$

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропонована балістична модель, яка, на відміну від існуючих, враховує приріст питомої маси ЗТ під час польоту дозволить підвищити точність розрахунків під час обґрунтування балістичних параметрів засобів розмінування даного типу. Напрямами подальших досліджень є висвітлення результатів моделювання.

охорони Державного кордону України № 131\155\261 від 26.05.2008 року “Про організацію робіт щодо виявлення та знешкодження ВВП на території України”.

5. Дії підрозділів на території де можливе застосування саморобних вибухових пристроїв: Методичний посібник. – К.: ГУОЗ, 2012. – 57 с. **6. Ментус І. Е.** Ефективність інженерних боєприпасів: навчальний посібник. – Кам’янець-Подільський: ФВП ПДАТУ, 2008. – 80 с. **7. Кошкин Н. И.** Справочник по элементарной физике // [Н. И. Кошкин, М. Г. Ширкевич]. – М.: “Наука”, 1976. – 256 с.

БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАЛЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ С НАТЯЖНЫМИ ДАТЧИКОМ ЦЕЛИ

¹Михаил Алексеевич Шишанов (д-р техн. наук, профессор)

²Владимир Иванович Коцюруба (канд. воен. наук, с.н.с, доцент)

¹Центральний науково-дослідницький інститут озброєння та військової техніки Вооруженных Сил України, Київ, Україна

²Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

На основе анализа существующих подходов по моделированию процессов разминирования, а именно использования средств для траления взрывных устройств с натяжным датчиком цели, предложена баллистическая модель, которая, в отличие от существующих, учитывает прирост текущей массы средства для траления взрывных устройств (комбинация тралящего элемента и троса) во время полета. Одним из наиболее сложных вопросов при моделировании является определение зависимости параметров полета тралящего элемента от динамики прироста массы троса. Баллистическими параметрами тралящего элемента, которые рассматриваются, являются: угол вылета, дальность, высота, время, скорость полета. Предложенные усовершенствования математической модели и последовательность проведения расчетов позволят повысить точность

результатов моделирования траления взрывных устройств с натяжным датчиком цели при обосновании требований к средствам разминирования данного типа. Направлением продолжения исследования в этой области является математическое моделирование процесса полета тралящего элемента, которые входят в состав средств траления взрывных устройств с натяжным датчиком цели, и обоснования, на основе использования его результатов, рациональных баллистических параметров.

Ключевые слова: баллистическая модель; взрывное устройство; натяжной датчик цели; траление; средство для траления.

BALLISTIC EXPLOSIVE SWEEPING MODEL WITH A PULL-ACTION TARGET-SENSOR

¹Mykhailo O. Shyshanov (Doctor of Technical Sciences, Professor)

²Volodymyr I. Kotsiuruba (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor)

¹Central Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

Based on the analysis of existing approaches to modeling processes of mine disarming, including the use of explosive sweeping devices with pull-action target-sensors, the ballistic model which, unlike the existing ones, takes into account the increase of instantaneous sweeping device weight (a combination of sweeping element and cable) during the flight was proposed. One of the most difficult issues in modeling is to determine flight parameters of sweeping element dependence on the weight gain dynamics of the rope. The investigated ballistic parameters of the sweeping element are the following: exit angle, distance, altitude, time, speed. The proposed improvements of the mathematical model and sequence of calculations will increase the accuracy of modeling the explosive sweeping process with a pull-action target-sensors during the validation of requirements to mine disarming devices of this type. Mathematical modeling of the flight process of the sweeping elements included in explosive sweeping with pull-action target-sensors and validation on the basis of its results, rational ballistic parameters, are the directions of the further research.

Keywords: ballistic model; explosive; pull-action target-sensor; sweeping; sweeping device.

References

1. Newsletter of mine action in the course of ATO in Donetsk and Luhansk regions. [Informatsiyni biuleten z protyminnoi diialnosti u khodi provedennia ATO u Donetskii ta Luhanskii oblastiakh], (2014), Kyiv: HUZ, 16 p.
2. The Convention on the Prohibition of the Use, Stockpiling, Production and Transfer of Anti-Personnel Mines and on their Destruction. [Konventsiiia pro zaboronu zastosuvannia, nakopychennia zapasiv, vyrobnytstva i peredachi protypikhotnykh min ta pro yikhnie znyshchennia], (2004), Kyiv: Varta, 25 p.
3. Law of Ukraine of 22.12.04 №2281-IV "On adoption of the Protocol on explosive remnants - of war".
4. Joint Order of the Minister of Defense of Ukraine, the Minister of Ukraine of Emergencies and Affairs of Population Protection from the Consequences of Chornobyl Catastrophe, Head of the State Committee for State Border Protection of Ukraine number 131\155\261 of 26.05.2008, "On the organization works to identify and neutralize GDP in Ukraine."
5. Actions within the territory where the possible use of improvised explosive devices. [Dii pidrozdiliv na terytorii de mozhyve zastosuvannia samorobnykh vybukhovnykh prystroiv], (2012), Metodychnyi posibnyk, Kyiv: HUZ, 57 p.
6. Mentus I.E. (2008), Efficiency Engineering ammunition. [Efektyvnist inzhenernykh boieprypasiv], navchalnyi posibnyk, Kamianets-Podilskyi: FVP PDATU. 80 p.
7. Koshkyn N.Y., Shirkevich M.G. (1976), Handbook of elementary physics. [Spravochnik po elementarnoi fizike], Moscow: "Nauka", 256 p.

Отримано: 13.06.2016 року.