

УДК 623.522.6

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАРЯДІВ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ БОЄПРИПАСІВ НА ОСНОВІ НАБЛИЖЕНОГО ВИРШЕННЯ РІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ

А. С. МІЩЕНКО, ад'юнкт штатний науково-організаційного відділу
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного
E-mail: mishchenko_as@ukr.net

В умовах бойового застосування артилерійських підрозділів зростає значення точності та оперативності ураження цілей вогневими підрозділами наземної, самохідної та реактивної артилерії. На точність ураження серед інших параметрів впливає правильність та своєчасність внесення балістичних поправок, зокрема поправки на температуру зарядів боєприпасів. В статті розглядається одна із складових балістичної підготовки стрільби артилерійських підрозділів – визначення температури зарядів артилерійських боєприпасів. У попередніх роботах автора запропонований новий спосіб визначення температури заряду, який базується на використанні диференціальних залежностей, що описують процеси теплообміну між зарядом боєприпасу та навколишнім середовищем. Запропонований метод дає можливість визначити температуру зарядів безпосередньо перед стрільбою та автоматично вносити дані про температуру в систему підготовки даних для стрільби. У даній статті розглянута можливість спрощення реалізації зазначеного методу за рахунок використання приближеного вирішення рівняння теплопровідності, що дозволить зменшити витрати часу на підготовку підрозділів до виконання бойового завдання.

Ключові слова: артилерія, температура зарядів, вимірювання температури, теплопровідність

Актуальність. В сучасних умовах ведення бойових дій артилерійськими підрозділами великого значення набуває точність та оперативність ураження цілей вогневими підрозділами артилерії, особливо під час ведення вогню по цілях, які знаходяться поблизу своїх військ або місць проживання цивільного населення. Це вимагає постійного підвищення точності та оперативності всіх складових підготовки стрільби.

Однією із складових балістичної підготовки стрільби є визначення температури зарядів артилерійських боєприпасів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Визначення температури заряду на

підставі відомостей про температуру поверхні розглянуто в роботах [1, 2]. Однак застосування залежностей, отриманих в цих роботах, ускладнене тим, що у зв'язку із практичною складністю [3, 4] точного визначення коефіцієнту теплообміну між гільзою та навколишнім середовищем та визначення коефіцієнту теплопередачі через гільзу до заряду в умовах нестационарного температурного поля робиться припущення про характер зміни температури на поверхні гільзи та рівність температури на зовнішній та внутрішній сторонах гільзи. Точні вирішення задачі теплопередачі, отримані тільки для тіл простої форми та базуються на

відомих значеннях коефіцієнтів теплообміну та теплопередачі, хоча на практиці реальні коефіцієнти визначити неможливо у зв'язку із тим, що в реальних умовах відбувається складний теплообмін, в якому задіяні всі механізми теплопередачі одночасно [5], причому неможливо аналітично визначити «вагу» кожного з них для конкретного випадку. Визначають зазначені коефіцієнти використовуючи регулярний підхід до визначення температури, вважаючи темп зміни температури постійним на протязі великого періоду часу [6], але такі умови не часто зустрічаються у реальних процесах. Тому велике практичне значення має розрахунок температури заряду без визначення коефіцієнтів теплообміну.

Мета дослідження – удосконалення методу визначення температури зарядів артилерійських боєприпасів на підставі відомостей про температуру поверхні шляхом застосування наближеного вирішення рівняння теплопровідності.

Матеріали і методи дослідження. Методологічну основу дослідження складають елементи термодинаміки, математичного моделювання та апроксимації відомих функцій.

Значного спрощення розрахунків теплопровідності можливо досягти, використовуючи наближені формули, які базуються на припущенні, що температурні криві, які описують зміну температури в реальних тілах за об'ємом та часом можна із достатньою точністю [3] замінити кривими виду.

$$t = (t_n - t_0) \left(1 - \frac{x}{X_0} \right)^n + t_0, \quad (1)$$

де t – температура певної точки тіла;
 t_n – температура поверхні тіла;
 t_0 – початкова температура тіла;
 x – відстань від поверхні до точки тіла;
 X_0 – характерний розмір тіла (для пластини – половина товщини, для циліндра або шара – радіус);

n – показник, який залежить від умов теплообміну та характеристик тіла.

З метою внесення поправки на температуру зарядів під час підготовки даних для стрільби необхідно визначати середньооб'ємну температуру заряду артилерійського боєприпасу в певний момент часу. Для визначення середньооб'ємної температури необхідно визначити кількість теплоти, яку отримав заряд у процесі його нагрівання або охолодження.

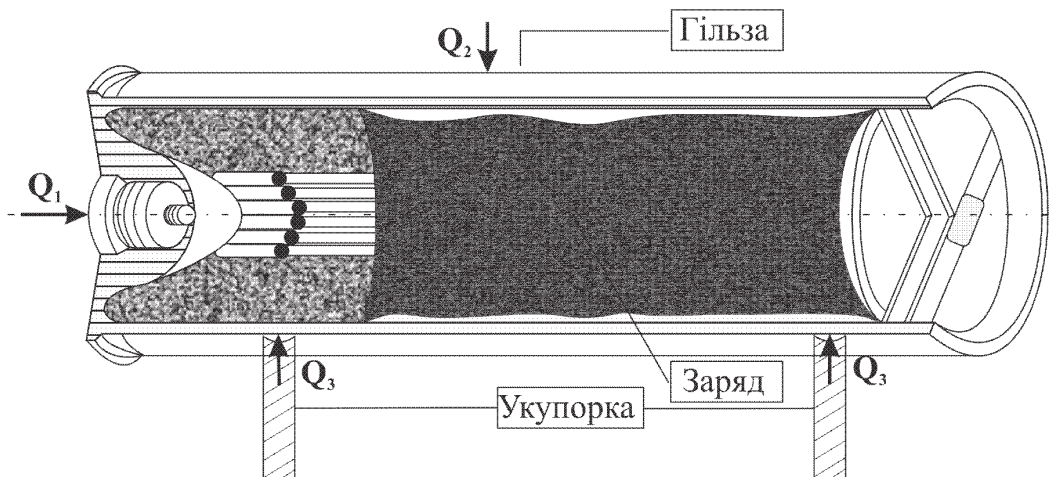


Рис. 1 Схема теплообміну заряду артилерійського боєприпасу з навколишнім середовищем

Теплообмін відбувається з повітрям через дно гільзи та бокові грані гільзи, крім того, в місцях контакту гільзи з укупоркою (рис. 1) відбувається передача тепла між твердими тілами (укупоркою та гільзою).

Сумарна кількість теплоти, яка надходить до системи заряд-гільза визначається за формулою:

$$Q_{\text{сум}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Q_1 – кількість теплоти, яка отримується через дно гільзи шляхом теплообміну з повітрям та променевого теплообміну із навколишніми тілами;

Q_2 – кількість теплоти, яка отримується через бокову частину гільзи шляхом теплообміну з повітрям та променевого теплообміну із навколишніми тілами;

Q_3 – кількість теплоти, яка отримується через бокову частину гільзи в місцях контакту з укупоркою.

Процес теплопередачі доцільно розділити на три стадії: перша стадія – стадія прогрівання гільзи, коли тепло проникає через товщу гільзи до заряду, а температура заряду залишається постійною. Друга стадія – процес прогрівання заряду. Третя стадія – нагрівання системи заряд-гільза до температури навколишнього середовища.

Товщина гільзи є тонкостінним тілом із високою теплоємністю, для якого тепловий опір є дуже малим. За таких умов, значення температури на зовнішній та внутрішній поверхнях гільзи можна вважати однаковим.

Використаємо наближені методи розрахунку теплопередачі, за залежністю приймаючи, що дійсна крива розподілу температури замінюється параболою [3]:

$$t = (t_n - t_0) \left(1 - \frac{x}{X_0} \right)^2 + t_0 \quad (2)$$

Рівняння можна записати в критеріальній формі, для чого необхідно здійснити заміну:

$$\Theta = \frac{t_n - t}{t_n - t_0}, \delta = \frac{x}{X_0}, \Delta = \frac{X}{X_0} \quad (3)$$

де θ – безрозмірна температура;

δ – відносна координата точки;

Δ – відносна товщина прогрітого шару тіла;

X – товщина прогрітого шару тіла.

Тоді, з урахуванням, рівняння прийме вигляд:

$$\Theta = \frac{t_n - t}{t_n - t_0} = 1 - \left(1 - \frac{\delta}{\Delta} \right)^2 \quad (4)$$

Задачу доцільно вирішувати, виходячи із наступних припущень:

Місця контакту гільзи з укупоркою мають відносно малу площу, причому теплоємність дерева досить мала, порівняно із теплоємністю металу, отже тепловіддача від укупорки до гільзи є відносно невеликою та нею можна знехтувати ($Q_3 \approx 0$).

За зазначених припущень об'єм прогрітого шару порохового заряду можна наближено визначити за залежністю:

$$V_x = FX \left(1 - \frac{1}{2} \Delta \right) \quad (5)$$

де $F = 2\pi X_0(l + X_0)$.

Кількість теплоти яка отримується через дно гільзи Q_1 можна визначити як:

$$Q_1 = V_{x \text{ дон}} \gamma_{\text{гільз}} c_{\text{гільз}} (t_{\text{дон}} - t_0) \quad (6)$$

Кількість теплоти, отримана через бокові стінки циліндру Q_2 можна знайти як:

$$Q_2 = V_{x \text{ бок}} \gamma_{\text{гільз}} c_{\text{гільз}} (t_{\text{бок}} - t_0) \quad (7)$$

де V_x – об'єм прогрітого шару;

γ – густина матеріалу;

c – питома теплоємність.

Сумарна кількість теплоти, яка акумульована описується залежністю:

$$Q_{\text{сум}} = Q_1 + Q_2 = \frac{1}{n+1} FX \gamma c (t_n - t_0) \left(1 + \frac{1}{n+2} \Delta \right) \quad (8)$$



Тоді середня за об'ємом температура заряду може бути визначена із співвідношення:

$$t_c = \frac{1}{3}(t_n - t_0) \frac{1 - \frac{1}{4}\Delta}{1 - \frac{1}{2}\Delta} + t_0, \quad (9)$$

Розрахувавши сумарну кількість теплоти, яка надійшла до заряду і визначивши із залежності величину Δ , можна із формули (9) визначити середню температуру заряду, значення якої необхідне для розрахунку поправки на температуру заряду при розрахунку даних для стрільби.

Результати дослідження. В роботі отримані наближені аналітичні залежно-

сті для визначення середньооб'ємної температури заряду на підставі інформації про зміну температури поверхні гільзи. Отримані залежності не потребують визначення коефіцієнту теплообміну між гільзою та навколишнім середовищем та гільзою і зарядом.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отримані результати мають велике практичне значення, дозволяють збільшити оперативність проведення балістичної підготовки. Подальшим напрямом проведення досліджень є аналітична та експериментальна оцінка точності отриманих наближених залежностей.

Література

1. Шабатура Ю. В. Математичні засади нового методу визначення температури зарядів артилерійських боеприпасів [Текст] / Ю. В. Шабатура, А. С. Міщенко // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 3. – С. 56 – 60.
2. Шабатура Ю. В. Визначення температури заряду артилерійського боеприпасу на основі застосування теорії регулярного теплового режиму [Текст] / Ю. В. Шабатура, А. С. Міщенко. // Військово-технічний збірник АСВ. – 2015. – № 13 – С. 73 – 76.
3. Вейник А. И. Приближенный расчет процессов теплопроводности [Текст] / А.И. Вейник – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 190 с.
4. Основы теории и методы расчета теплопередачи [Текст] : учеб. / А.Б. Мазо – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 144 с.
5. Лыков А. В. Теория теплопроводности [Текст] / А.В. Лыков – М.: "Высшая школа", 1967. – 600 с.
6. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим [Текст] / Кондратьев Г. М. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 408 с.

References

1. Shabatura Iu. V., Mishchenko A. S (2015). Matematychni zasady novoho metodu vyznachennia temperatury zaryadiiv artyleriyskykh boieprypasiv [Mathematical principles of the new method for determining artillery charges temperature]. Arms systems and military equipment, 3, 56 – 60.
2. Shabatura Iu. V., Mishchenko A. S (2015). Vyznachennia temperatury zaryadu artyleriiskoho boieprypasu na osnovi zastosuvannia teorii rehuliarnoho teplovoho rezhymu [Determining artillery ammunition charges temperature based on the regular thermal regime theory]. Military-technical collections, 13, 73 –76.
3. Veynyk A.Y.(1959). Pryblyzheniy raschet protsessov teploprovodnosti [Approximate calculation of heat transfer processes] Moskow, Hosenerhoizdat, 190.
4. Mazo A. B. ed. (2013). Osnovy teoryy y metody rascheta teploperedachy [Fundamentals of the theory and methods of heat transfer calculating], Kazan: Kazan University, 144.
5. Lykov A. V. (1967). Teoryya teploprovodnosti [The theory of heat transformation]. Moskow, Vysshaya shkola, 600.
6. Kondrat'ev H. M. (1954). Rehulyarnyy teplovy rezhym [Regular thermal mode]. Moskow, Hosudarstvennoe yzdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoy lyteratury, 408.

SUMMARY

A. S. Mishchenko. *Artillery ammunition charges temperature determination based on appropriate solution of heat transformation equation // Biological Resources and Nature Management. – 2017. – 9, №1–2. – P.88–92.*

In conditions of military use of artillery units, the importance of accuracy and efficiency of target defeat increases. It is important for land, self-propelled and reactive artillery fire units as well. The accuracy of the target damage, among other parameters, is influenced by correctness and timeliness ballistic corrections. One of them is correction for the ammunition charges temperature. The determination of the artillery munitions charges temperature discussed in the article as one of ballistic preparation procedure components. In previous articles author has proposed a new method for determining the temperature of charge, which is based on the use of differential dependencies describing the processes of heat exchange between the ammunition charge and the environment. The proposed method allows determining the charges temperature, just before the shooting and automatically entering the temperature data into the shooting data preparation system. In this article considered the possibility of simplifying this method implementation, due to use the heat conduction equation approximate solution, which will reduce the time expenditures for units preparation to the combat task.

Keywords: *Artillery, ammunition charges temperature, temperature measuring, heat transformation*

АННОТАЦІЯ

А. С. Мищенко. *Определение температуры зарядов артиллерийских боеприпасов на основании приближенного решения уравнения теплопроводности // Биоресурсы и природопользование. – 2017. – 9, №1–2. – С.88–92.*

В условиях боевого применения артиллерийских подразделений возрастает значение точности и оперативности поражения целей огневыми подразделениями наземной, самоходной и реактивной артиллерии. На точность поражения среди других параметров влияет правильность и своевременность внесения баллистических поправок, в частности поправки на температуру зарядов боеприпасов. В статье рассматривается одна из составляющих баллистической подготовки стрельбы артиллерийских подразделений - определение температуры зарядов артиллерийских боеприпасов. В предыдущих работах автора предложен новый способ определения температуры заряда, который базируется на использовании дифференциальных зависимостей, описывающих процессы теплообмена между зарядом боеприпаса и окружающей средой. Предложенный метод позволяет определять температуру зарядов непосредственно перед стрельбой и автоматически вносить данные о температуре в систему подготовки данных для стрельбы. В данной статье рассмотрена возможность упрощения реализации указанного метода, за счет использования приближенного решения уравнения теплопроводности, что позволит уменьшить затраты времени на подготовку подразделений к выполнению боевой задачи.

Ключевые слова: *Артиллерия, температура зарядов, измерение температуры, теплопроводность.*