

3. Bounegru, A.V.; Apetrei, C. Simultaneous determination of caffeic acid and ferulic acid using a carbon nanofiber-based screen-printed sensor / A.V. Bounegru, C. Apetrei // *Sensors*. – 2022. – V. 22, № 13. – Article 4689.

4. Ziyatdinova, G.K. An electrode based on electropolymerized sunset yellow for the simultaneous voltammetric determination of chlorogenic and ferulic acids / G.K. Ziyatdinova, E.V. Guss, E.V. Morozova, H.C. Budnikov // *J. Anal. Chem.* – 2021. – V. 76, № 3. – P. 371–380.

5. Della Pelle, F. Class-selective voltammetric determination of hydroxycinnamic acids structural analogs using a WS₂/catechin-capped AuNPs/carbon black-based nanocomposite sensor / F. Della Pelle, D. Rojas, F. Silveri, G. Ferraro, E. Fratini, A. Scroccarello, A. Escarpa, D. Compagnone // *Microchim. Acta*. – 2020. – V. 187, № 5. – Article 296.

УДК 517.958, 662.33, 662.34

А.О. Игноватова, М.С. Гречухина
ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Россия

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕРКИ ПРИГОДНОСТИ ПОРОХА ДЛЯ ПАТРОНОВ

Показатели глубины проникновения в преграду патронов при использовании могут быть различны ввиду их неправильного хранения и несоответствия срока годности, что неблагоприятно сказывается при использовании оружия, как в военной, так и в гражданской сферах. В связи с этим, целью работы является разработка методики проверки пригодности пороха для патронов, которая обеспечит надёжность результатов и простоту её использования.

Данная методика предусматривает отказ от экспериментальных исследований при проведении проверки пригодности пороха в самих патронах. Поэтому необходимо заменить такие исследования прогнозирующим элементом, в роли которого будет выступать экспериментально доказанный график зависимости глубины проникновения пули в преграду от срока и условий хранения пороха, а также выведенный закон изменения траектории движения пули при прохождении через преграду [1].

Согласно II закону Ньютона в инерциальной системе отсчёта ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей сил, приложенных к телу и обратно пропорционально массе. Поскольку внутри пластины в каждый момент времени на пулю действует сила сопротивления, которая направлена против движения пули, а по вели-

чине пропорциональна квадрату скорости движения пули в данный момент [2], имеем:

$$a = -\frac{k}{m}v^2, \quad (1)$$

где a – ускорение пули, проходящей через пластину, k – коэффициент сопротивления материала пластины, m – масса пули, v – скорость движения пули.

Учитывая, что $v = \frac{dx}{dt}$, $a = \frac{d^2x}{dt^2}$ уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}\left(\frac{dx}{dt}\right)^2. \quad (2)$$

Уравнение (2) представляет собой неполное линейное дифференциальное уравнение второго порядка. Понизив его порядок заменой $\frac{dx}{dt} = v(t)$, и проинтегрировав один раз, находим закон изменения скорости движения пули:

$$v(t) = \frac{1}{\frac{k}{m}t + C_1}. \quad (3)$$

Возвращаясь к искомой функции и интегрируя, получим закон изменения траектории движения пули при прохождении через пластину:

$$x(t) = \frac{m}{k} \ln \left| \frac{k}{m}t + C_1 \right| + C_2. \quad (4)$$

Учитывая начальные условия $t = 0$, $v = 0$ были найдена константа интегрирования, и закон изменения скорости принял следующий вид:

$$v(t) = \frac{1}{\frac{k}{m}t + \frac{1}{v^2}}, \quad (5)$$

то есть $C_1 = \frac{1}{v^2}$.

Проинтегрировав выражение (5), получим новый вид закона изменения траектории пули при прохождении через преграду и, применив начальные условия, найдём константу C_2 :

$$x(t) = \frac{m}{k} \ln \left| \frac{k}{m}t + 1 \right|. \quad (6)$$

то есть $C_2 = 0$.

На основании полученных законов изменения скорости движения пули (5) и ее траектории (6) было произведено имитирование траектории полёта пули для некоторых видов оружия с использованием математического пакета MATLAB (метод Рунге-Кутты). Для этого бы-

ли заданы следующие начальные условия: g – ускорение свободного падения, m – масса пули, C_d – коэффициент сопротивления древесины, S_m – площадь Миделя, ρh_0 – плотность дуба, v_0 – начальная скорость пули, α_0 – начальный угол подъёма пули относительно горизонта.

В первом случае была рассмотрена снайперская винтовка Драгунова СВД калибра 7,62 мм с начальной скоростью 800 м/с и массой пули 9,6 г (патрон 57-Н-323С с пулей ЛПС). Во втором случае исследуется автомат Калашникова АКМ калибра 7,62 мм с начальной скоростью 700 м/с и массой 7,9 г (патрон 57-Н-231 с пулей ПС). Из графика (рис. 1, а) можно сделать вывод, что при стрельбе с расстояния 200 м максимальная глубина проникновения пули в брус составит 70 см, что совпадает при расчёте через формулу. Из графика (рис. 1, б) можно сделать вывод, что максимальная глубина проникновения пули в брус составляет 50 см, что соответствует расчётам по выведенному закону.

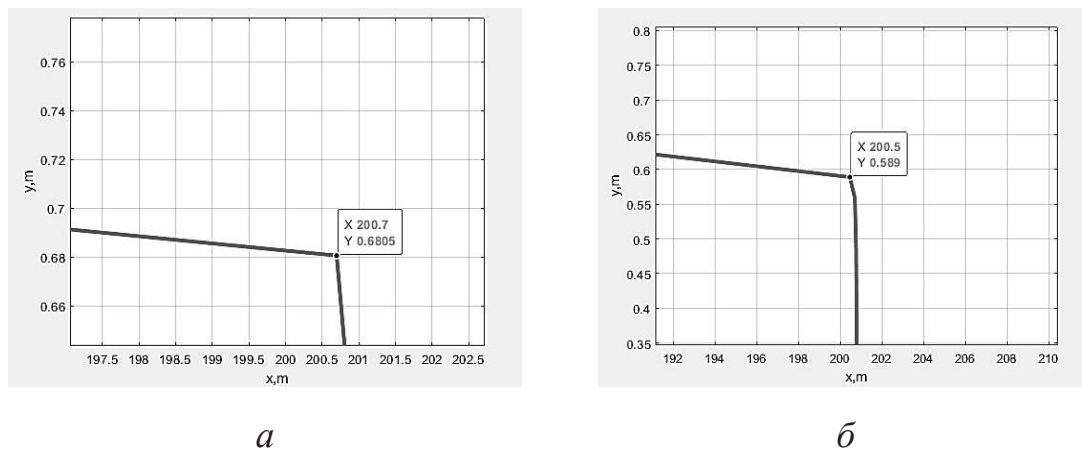


Рисунок 1 - Траектория движения: (а) – пули СВД при прохождении через брус; (б) – АКМ при прохождении через брус

Так же, результаты, полученные при теоретических исследованиях, сравнивались с графиками математического пакета MATLAB при прохождении пули через строительную экструзионную износостойкую керамику и тоже получились примерно одинаковые. Т.е. на основании всего этого можно сделать вывод, что один из математических способов прогнозирования глубины проникновения пули в преграду был найден. Вторым способом является получение графика зависимости глубины проникновения пули в преграду от срока и условий хранения пороха, что и будет являться фундаментом методики проверки пригодности.

Суть методики заключается в том, что пригодность пороха и самих патронов будет определяться из графика зависимости глубины проникновения пули в преграду от срока и условий хранения пороха. Для этого изначально будет рассчитана из выведенного закона

траектории движения пули при прохождении через преграду ориентировочная глубина проникновения. Далее результат будет сравниваться с построенным графиком в математическом пакете MATLAB через функцию Рунге-Кутты. И, уже имея точную глубину проникновения, производятся экспериментальные исследования. Далее отбирается партия патронов определённого калибра для специального оружия. Важно, чтобы таких партий было несколько, т.к. они должны различаться своим сроком и условием хранения. После подготовительных процессов будут произведены прострелы, исходя из которых можно будет сделать вывод о зависимости глубины проникновения пули в преграду от срока и условий хранения патрона. В дальнейшем результаты будут преобразованы в график (для удобства они также могут быть преобразованы в таблицу).

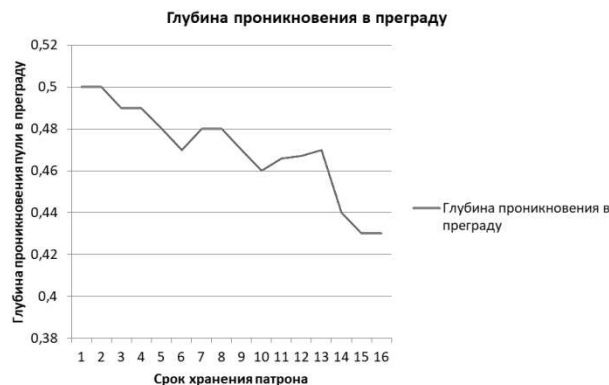


Рисунок 2 - Теоретическая модель графика зависимости глубины проникновения пули в преграду от срока и условий хранения патрона

После этого проверка пороха на пригодность уже не будет нуждаться в проведении экспериментальных исследований, т.к. на основании полученного графика вывод можно будет сделать сразу. Данный метод со временем позволит полностью отказаться от экспериментальной части и прибегнуть к математическому аппарату. Главное отличие данного метода заключается в использовании математического аппарата. За счёт него можно сэкономить как финансовые, так и временные ресурсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Процессы кинетики, деформации и разрушения при высокоскоростном ударе и бронепробитии: учеб. - метод. пособие / С.Е. Алексенцева, И.В. Захаров. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 98 с.
2. Системы дифференциальных уравнений и устойчивость движения по Ляпунову: учебное пособие / А.Г. Младов. – М.: Высш. школа, 1966. – 224 с.