

УДК 004.4:623.423

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРЕНАЖЕРА СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Г.Г. Хачатрян

Министерство обороны Республики Армения

Рассматриваются вопросы математического моделирования и программного обеспечения функционирования тренажера ствольной артиллерии. Дан алгоритм функционирования программного обеспечения. Использование в программном обеспечении поправок для стрельбы в виде табличных данных связано со сложностями, которые обусловлены вводом больших объемов данных и необходимостью проведения расчетов промежуточных значений. С этой целью предложена методика перевода функций из табличного вида в аналитический, построены графики полученных функций в математических пакетах программ, приведены к аналитическому виду поправки для стрельбы из противотанковой пушки.

Ключевые слова: ствольная артиллерия, таблицы стрельбы, поправки для стрельбы, математическая модель, теория аппроксимаций, программное обеспечение, информационные технологии.

Введение. В век информационных технологий компьютерное обучение эффективно тем, что в отличие от традиционных методов обучения, оно обеспечивает большую степень интерактивности и усваиваемости материала за единицу времени. По оценке специалистов, в армиях иностранных государств практические навыки обучаемые получают именно на тренажерах - такие занятия занимают от 40 до 60% учебного времени [1].

Широкое применение отечественных компьютерных тренажеров является одним из главных факторов повышения уровня боевой подготовки войсковых подразделений ВС РА [2, 3].

Стоимость зарубежных тренажеров достигает до 50% от стоимости вооружения, а сроки окупаемости - длительные. Поэтому актуальное значение имеют развитие тренажеростроения в военно-промышленном комплексе с целью оснащения боевых подразделений тренажерами отечественного производства, а также пересмотр учебно-методических материалов и программ подготовки боевых расчетов в соответствии с современными требованиями. С этой целью разработан тренажер ствольной артиллерии [4], математическая модель работы программного обеспечения (ПО) которого представлена в настоящей статье.

Математическое описание функционирования программного обеспечения. Тренажер представляет собой аппаратно-программный комплекс (рис. 1), состоящий из аппаратной части, имитирующей органы управления пушки, и ПО, функционирующего на компьютере.

После запуска целей сначала определяют расстояние до них при помощи дальномерной шкалы оптического прицела ОП-4 пушки, далее вращением маховиков подъемно-поворотного механизма сопровождают цель и, наконец выбрав точку прицеливания, открывают огонь. После завершения стрельбы на мониторе высвечивается оценка за выполнение огневой задачи (рис. 2).



Рис. 1. Тренажер ствольной артиллерии “Панарома”

Скорость вращения маховиков V_M подъемно-поворотного механизма тренажера непостоянна и является некоторой функцией от времени t , т.е.

$$V_M = f(t).$$

Тогда величина перемещаемого маховиками оптического прицела ОП-4 пушки в окне ПО определится выражением

$$S(t) = k \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt,$$

где t_1 - время засечки цели; t_2 - время производства выстрела; k - коэффициент пропорциональности, настраиваемый из окна ПО (соотношение скорости вращения подъемно-поворотного механизма к скорости перемещения прицела ОП-4) [4].

Дальность до цели при фланговом курсе, m :

$$L(t) = L_0 = const,$$

где L_0 - начальная дальность до цели.

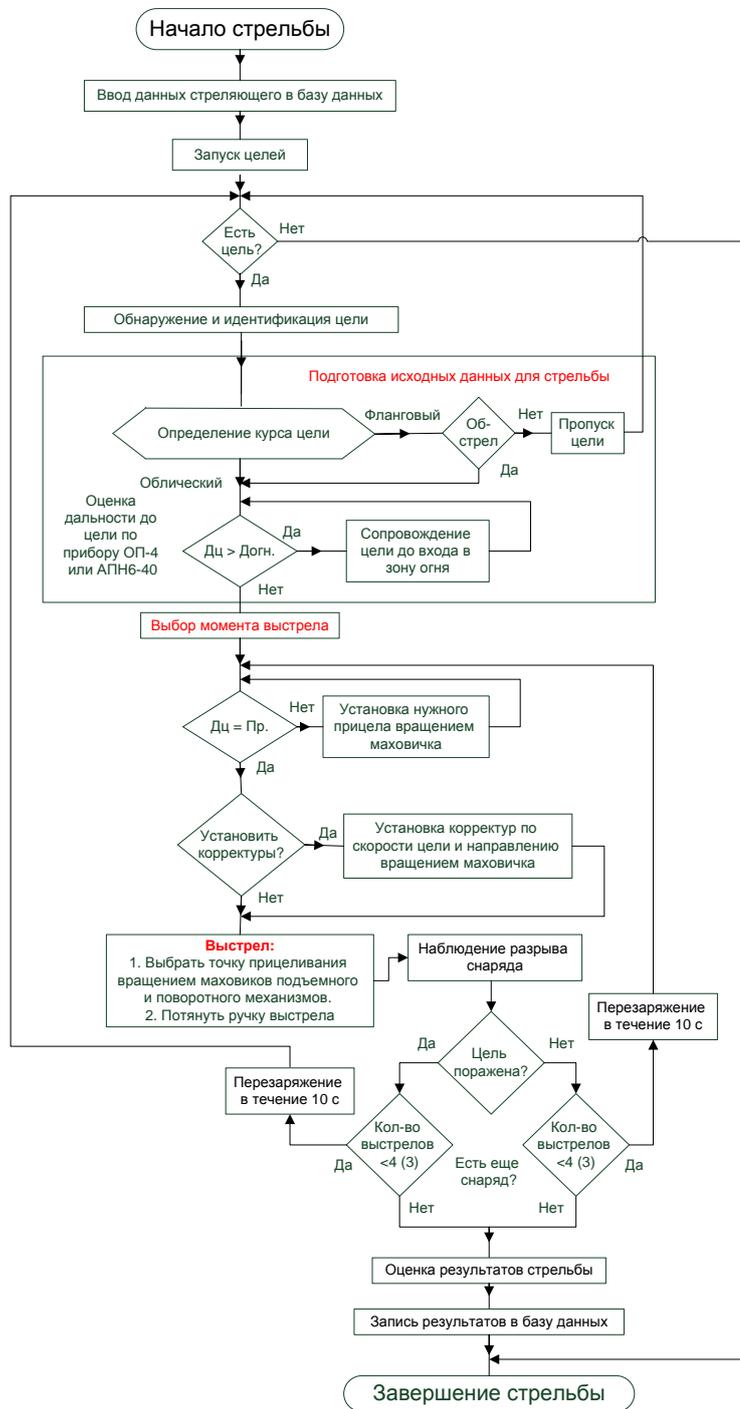


Рис. 2. Алгоритм функционирования программного обеспечения

Дальность до цели при облическом (наклонном) курсе, m :

$$L(t) = L_0 - v \cos \alpha t,$$

где $v \cos \alpha$ - проекция вектора \vec{V} скорости цели на координатную ось.

Условие поражения цели:

$$|L(t) - P| \leq U_{max}, a \in M,$$

где P - установка прицела, соответствующая дальности до цели, m ; U_{max} - максимальное рассогласование установки прицела и дальности до цели, m ; $a(x_1, y_1)$ - координаты центра разрыва снаряда; $M = \{x_1, y_1; x_2, y_2; \dots x_n, y_n\}$ - множество координат, заключенных в контур цели.

Поправкой на боковой ветер является функция от дальности до цели $L(t)$, скоростей бокового ветра V_w и снаряда V_c , т.е.

$$W = f(L(t), V_w, V_c).$$

При стрельбе прямой наводкой для данного типа снаряда $V_c = \frac{L(t)}{t_c} = const$

(здесь t_c - полетное время снаряда).

Приращение каждой независимой переменной вызывает соответствующее изменение величины поправки. Найдем это суммарное изменение, выражая малые приращения через соответствующие частные производные:

$$dW = \frac{\partial W}{\partial L} dL + \frac{\partial W}{\partial V_w} dV_w + \frac{\partial W}{\partial V_c} dV_c.$$

Чем меньше величина каждой производной, тем слабее воздействие соответствующего фактора на величину поправки бокового ветра.

Оценка Q за выполнение огневой задачи при числе выстрелов n и числе попаданий d [5]:

при стрельбе по одной цели:

при стрельбе по двум целям:

$$Q = \begin{cases} 5, & \text{если } n = d = 1, \\ 4, & \text{если } n = 2, d = 1, \\ 3, & \text{если } n = 3, d = 1, \\ 2, & \text{если } n = 4, d \leq 1, \end{cases}$$

$$Q = \begin{cases} 5, & \text{если } n = d = 2, \\ 4, & \text{если } n = 3, d = 2, \\ 3, & \text{если } n = 4, d = 2. \\ 2, & \text{если } n = 4, d < 2. \end{cases}$$

Дополнительное условие оценивания заключается в занижении оценки на 1 балл при открытии огня ближе расстояния $3/4$ начальной дальности до цели:

$$Q = Q - 1, \text{ если } L < 3/4 L_0.$$

При выполнении огневых задач реальные условия стрельбы (особенно метеорологические и баллистические) могут существенно отличаться от табличных. Поскольку отклонения снарядов от цели вследствие неучета отклонений этих условий от табличных могут достигать больших значений по дальности и по направлению, то необходимо в ПО учитывать поправки, особенно при стрельбе на большие дальности (более 1500 м) [6].

Ввод таблиц стрельбы артиллерийских систем в ПО возможен в виде двумерных массивов данных, однако здесь возникает проблема расчета значения функции при промежуточных значениях аргумента. Поэтому намного удобнее представлять таблицы в ПО в виде формул (т.е. использование методов теории аппроксимации [7]), отсутствие которых в военной литературе побудило к их получению при помощи приводимой ниже методики.

Методика исследования. Функциональные зависимости поправок для стрельбы прямой и полупрямой наводками, а также из закрытой огневой позиции противотанковой пушкой переведены из табличного представления в аналитическое при помощи регрессионного анализа. Анализ производился методом наименьших квадратов [8] в математических пакетах SciDAVis 0.2.4 и Advanced Grapher 2.2 с ручным подбором наиболее точного типа регрессии по минимуму стандартного отклонения и максимальному значению коэффициента детерминации R^2 . Аппроксимации выполнены: линейной функцией $f(x)=ax+b$, экспоненциальной функцией вида $f(x)=a_0+exp(-x/t)$, полиномами второй $f(x)=a_2x^2+a_1x+a_0$ и третьей $f(x)=a_3x^3+a_2x^2+a_1x+a_0$ степеней. Построены графики полученных функций в вышеназванных математических пакетах (рис. 3, 4).

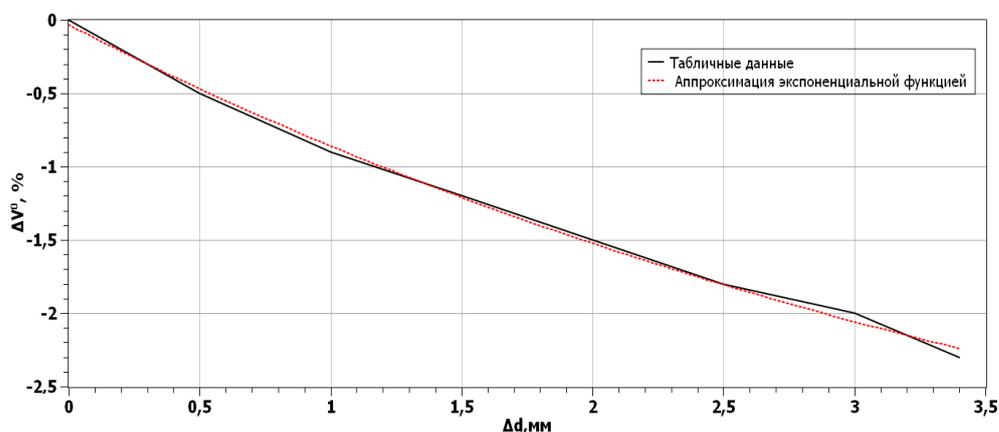


Рис. 3. Зависимость падения начальной скорости снаряда ΔV_0 от износа канала ствола Δd пушки Т(МТ-12)

Для упрощения полученных зависимостей член низшего порядка a_0 в большинстве случаев в полиномах игнорирован, а значения аргументов округлены с

тем, чтобы получить значения функций с точностью до второго значащего разряда.

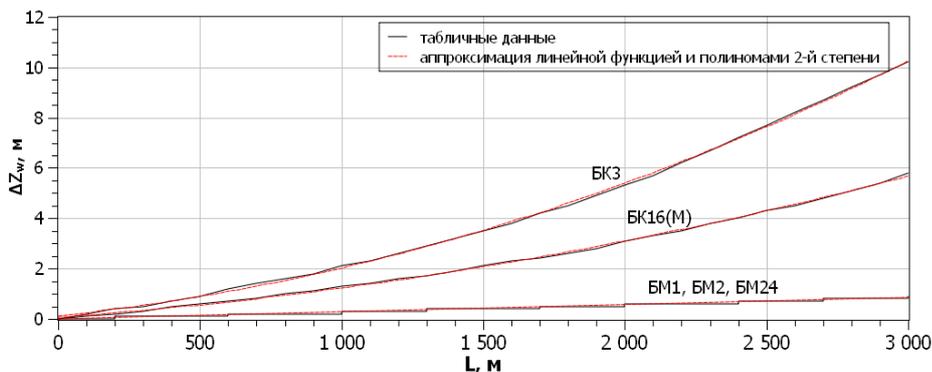


Рис. 4. Зависимость поправки направления на боковой ветер ΔZ_w от дальности до цели L для различных снарядов пушки Т(МТ)-12

Приводимые ниже функции получены для бронебойных подкалиберных снарядов БМ1, БМ2, БМ24, кумулятивного снаряда БК16М (БК16), кумулятивно-осколочного снаряда БК3 и осколочно-фугасных снарядов ОФ15, ОФ35 противотанковой пушки Т(МТ)-12. Аналогичным методом могут быть выведены формулы поправок для других артиллерийских систем.

Результаты исследования. Проведенные исследования показали, что с приемлемой погрешностью можно аппроксимировать табличные данные зависимости падения начальной скорости снаряда ΔV_0 от износа канала ствола Δd пушки Т(МТ)-12 следующей экспоненциальной функцией (рис. 3):

$$\Delta V_0 = 4,21 \left(e^{\frac{\Delta d}{4,58}} - 1 \right), \quad \Delta d \in [0; 3,4],$$

где ΔV_0 - падение начальной скорости снаряда (при температуре заряда $+15^\circ\text{C}$), %; Δd - диаметральный износ канала ствола, мм.

При температуре заряда, отличной от $+15^\circ\text{C}$, падение начальной скорости снаряда для пушки Т(МТ)-12 определяется по известной системе равенств [9]:

$$\begin{cases} \Delta V = \Delta V_0 [1 - 0,0017(T_\zeta - 15)], & T_\zeta > +15^\circ\text{C}; \\ \Delta V = \Delta V_0 [1 + 0,0017(15 - T_\zeta)], & T_\zeta < +15^\circ\text{C}, \end{cases}$$

где T_ζ - температура заряда, $^\circ\text{C}$; ΔV_0 - изменение начальной скорости снаряда при температуре заряда $+15^\circ\text{C}$.

Проведенные исследования показывают, что зависимость поправки направления на боковой ветер ΔZ_w от дальности до цели L представляется в следующем аналитическом виде (рис. 4):

$$\Delta Z_w = \begin{cases} 2,85 \cdot 10^{-5} L V_w & \text{для БМ1, БМ2, БМ24, } L \in [0; 3000], \\ (0,044L^2 + 56L)10^{-6} \cdot V_w & \text{для БК16(М), } L \in [0; 4000], \\ (0,06L^2 + 146L)10^{-6} \cdot V_w & \text{для БК3, } L \in [0; 6000], \\ (0,01L^2 + 150L)10^{-6} \cdot V_w & \text{для ОФ15, ОФ35, } L \in [0; 8000], \end{cases}$$

где ΔZ_w - поправка направления на боковой ветер, тыс.; L - дальность до цели, м; V_w - скорость бокового ветра, м/с.

На основе приведенной выше методики рассчитаны также: поправки дальности на продольный ветер ΔX_w , на изменение наземного давления воздуха ΔX_H , температуры воздуха ΔX_T , начальной скорости снаряда ΔX_{V_0} , температуры заряда ΔX_{T_3} , изменения высоты $\Delta Y_{\text{тыс}}$ и дальности $\Delta X_{\text{тыс}}$ соответственно при изменении прицела на одну тысячную, срединных отклонений по дальности B_o , высоте B_e и направлению B_ϕ (ввиду ограничений, налагаемых на размер статьи, они здесь не приводятся).

Заключение. Предложенная методика перевода функций из табличного вида в аналитический, а также полученные формулы поправок для стрельбы из пушки Т-12(МТ-12) позволяют упростить процесс ввода в программное обеспечение расчетов поправок для стрельбы.

Аналогичным образом могут быть получены функциональные зависимости поправок для других артиллерийских систем.

Литература

1. Эффективность и качество обучения: ставка на тренажеры // Белорусская военная газета. 2014. - Выпуск 145. <http://vsr.mil.by/2014/07/25/effektivnost-i-kachestvo-obucheniya-stavka-na-trenazhery/>
2. **Хачатуров Ю.Г.** Основные направления развития ракетных войск и артиллерии ВС РА в контексте оборонных реформ с учетом мировых тенденций // Айкаккан Банак: Военно-научный журнал Министерства обороны РА. - 2012. - N4(74). - С. 9 - 18.
3. **Априамов Э.А.** Опыт применения противотанковых средств на примере карабахского конфликта // Айкаккан Банак: Военно-научный журнал Министерства обороны РА. - 2012. - N4(74). - С. 58 - 62.
4. **Хачатрян Г.Г., Гаспарян Р.С., Ханоян В.Е.** Артиллерийский тренажер для стрельбы прямой наводкой // Айкаккан Банак: Военно-научный журнал Министерства обороны РА. - 2012. - N3(73). - С. 103 - 108, http://www.mil.am/files/Final%20N3_2012.pdf.
5. Курс подготовки артиллерии (КПА-12). Часть II. Дивизион, батарея, взвод, орудие. 2-е изд.- Ереван, 2013. - 160 с.

6. Пособие по изучению правил стрельбы и управлению огнем артиллерии (дивизион, батарея, взвод, орудие). Часть 1. – М.: Военное издательство, 1985. - 360 с.
7. **Носач В.В.** Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. - М.: Микап, 1994. - 382 с.
8. **Линник Ю.В.** Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. - 2-е изд. - М., 1962. - 349 с.
9. Таблицы стрельбы для равнинных и горных условий 100-мм противотанковой пушки Т(МТ-12). - М.: Военное издательство, 1988. - 88 с.

*Поступила в редакцию 15.05.2014.
Принята к опубликованию 17.12.2014.*

ՓՈՂԱՅԻՆ ՀՐԵՏԱՆՈՒ ՎԱՐԺԱՍԱՐՔԻ ԳՈՐԾՈՂՈՒԹՅԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ԱՊԱՀՈՎՈՒՄԸ

Հ.Գ. Խաչատրյան

Դիտարկվում են փողային հրետանու վարժասարքի ծրագրային ապահովման մաթեմատիկական մոդելավորման հարցերը: Տրված է սարքի ծրագրային ապահովման աշխատանքի ալգորիթմը: Աղյուսակային տվյալներին համապատասխան հրաձգության ուղղումների օգտագործումը հրետանու վարժասարքի ծրագրային ապահովման համար կապված է բարդությունների հետ՝ մեծ ծավալների տվյալների մուտքագրում և միջանկյալ արժեքների հաշվարկների անհրաժեշտություն: Այդ պատճառով առաջարկվում է ֆունկցիաների աղյուսակային տեսքից անալիտիկ տեսքի ձևափոխման մեթոդիկա, բերված են անալիտիկ տեսքի հակատանկային թնդանոթից հրաձգության ուղղումները:

Առանցքային բաներ. փողային հրետանի, հրաձգության աղյուսակներ, հրաձգության ուղղումներ, մաթեմատիկական մոդել, ապրոքսիմացիաների տեսություն, ծրագրային ապահովում, տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ:

MATHEMATICAL SIMULATION AND SOFTWARE OF THE BARREL ARTILLERY TRAINING OPERATION

H.G. Khachatryan

Issues on the mathematical simulation and software of the barrel artillery training are considered. The algorithm of the software operation is given. Using corrections in the software for shooting in a tabular form is difficult conditioned by the input of great volumes of data and the necessity of calculations of intermediate values. For that purpose, a method for transferring the functions from the tabular form into an analytical one is proposed, diagrams of the obtained functions in mathematical program packages are plotted, corrections for shooting from antitank guns are brought to an analytical form.

Keywords: barrel artillery, shooting tables, corrections for shooting, mathematical model, approximation theory, software, information technologies.