



УДК 621.396.96:621.391.26

А. Б. Бляхман, С. Н. Матюгин, А. Г. Прохоров

## О возможности применения обзорной радиолокационной станции для решения задачи определения точки пуска (огневой позиции)

Рассмотрено применение обзорной радиолокационной станции для решения задачи определения координат полевой артиллерии при обнаружении снарядов. Выполнен анализ экспериментальных данных траекторных испытаний стрельб полевой артиллерии, с использованием разработанного двухэтапного подхода, определены параметры закона изменения высоты снаряда.

**Ключевые слова:** радиолокационная станция, квадратичная аппроксимация, траектория, трасса.

### Введение

В современных военных конфликтах одной из важных задач является противодействие артиллерийскому огню и, как следствие, оперативное раскрытие огневых позиций противника в максимально короткое время с целью их скорейшего подавления.

В статье [1] представлено решение задачи определения точек прицеливания (падения) в ходе штатной работы мобильной радиолокационной станции (РЛС) обнаружения воздушных объектов длинноволновой части дециметрового диапазона. В настоящей публикации рассмотрено применение этой же обзорной РЛС для решения задачи определения местоположения огневых позиций объектов полевой артиллерии. Для рассмотрения возможности определения точки пуска проведен анализ траекторных данных стрельбовых испытаний с использованием разработанного двухэтапного подхода (рис. 1), в котором сначала определяется ориентация плоскости стрельбы на горизонтальной плоскости, затем в найденной вертикальной плоскости вычисляются параметры закона изменения высоты снаряда [1].

В предложенной модели полет снаряда полагается без отклонений в горизонтальной плоскости. Для аппроксимации использованы линейные (нахождение методом наименьших квадратов), квадратичные (нахождение методом наименьших квадратов) и кубические (построение баллистической кривой с учетом сопротивления воздуха) функции [2].

В качестве функции невязки при линейной аппроксимации используется корень суммы квадратов отклонений экспериментальных

данных от точной линейной зависимости, нормированный на количество точек:

$$R_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - (A + Bx_i))^2}{N}}, \quad (1)$$

где  $[x_i, y_i]_{i=1, \dots, N}$  – набор из  $N$  пар координат экспериментальных точек в горизонтальной плоскости;

$A, B$  – коэффициенты аппроксимирующей прямой в горизонтальной плоскости  $y = A + Bx$  [2].

В качестве функции невязки при квадратичной аппроксимации взят корень суммы квадратов отклонений экспериментальных данных от точной квадратичной зависимости, нормированный на количество точек:

$$R_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (h_i - (ay_i'^2 + by_i' + c))^2}{N}}, \quad (2)$$

где  $[h_i, y_i']_{i=1, \dots, N}$  – набор из  $N$  пар координат экспериментальных точек в вертикальной плоскости стрельбы;

$a, b, c$  – параметры аппроксимирующей параболы в вертикальной плоскости  $h = ay'^2 + by' + c$  [2].

Аналогично в качестве функции невязки при кубической аппроксимации траектории выбран корень суммы квадратов отклонений экспериментальных точек трассы от точной квадратичной зависимости, нормированный на количество точек:

$$R_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left( h_i - \left( y_i' \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{gy_i'^2}{2V_0^2 \cos^2 \theta_0} (1 + KV_0^2 y_i') \right) \right)^2}{N}}, \quad (3)$$

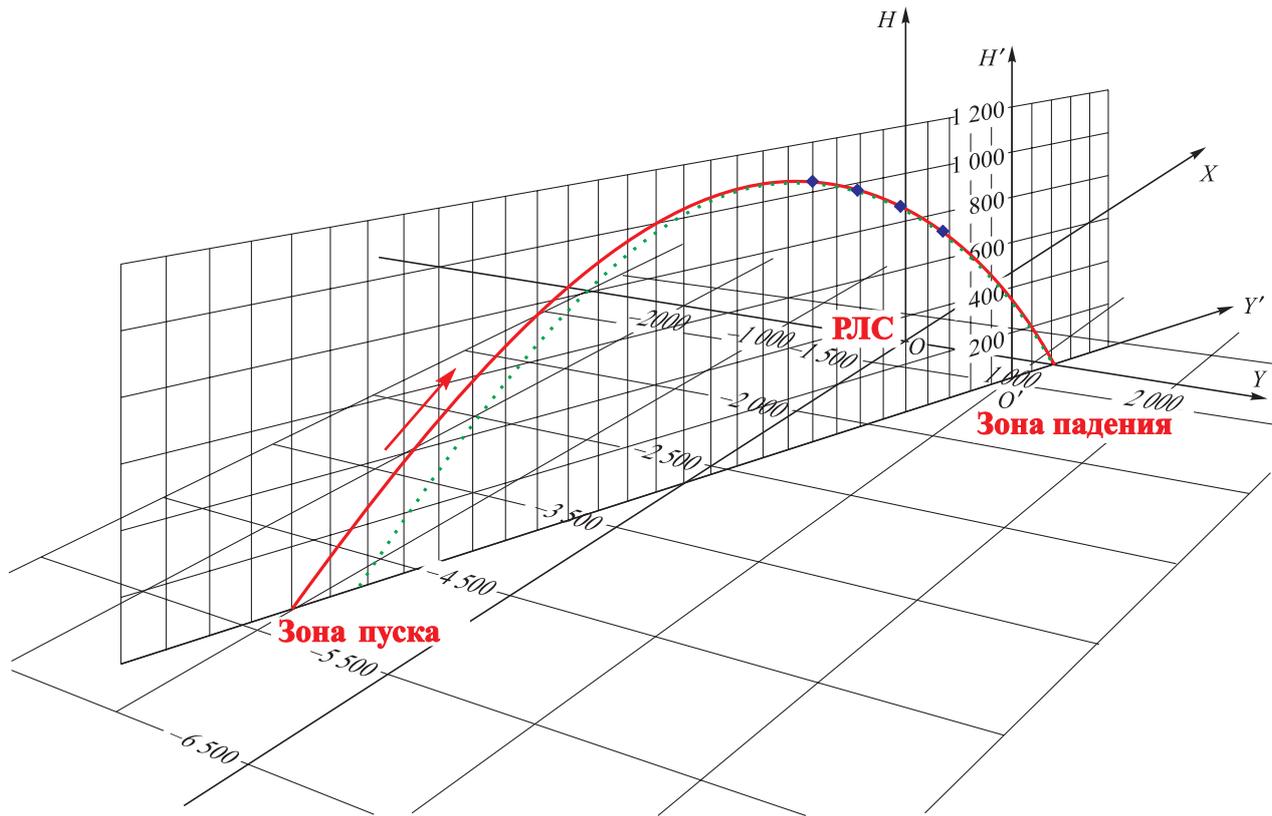


Рис. 1. Схема двухэтапного подхода к решению задачи

где  $[h_i, y'_i]_{i=1, \dots, N}$  – набор из  $N$  пар координат экспериментальных точек в вертикальной плоскости стрельбы;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\theta_0, V_0, K$  – коэффициенты баллистической кривой [3, 4].

Как и следовало ожидать, аппроксимация с учетом сопротивления воздуха дает лучший результат, чем аппроксимация простой параболой. Однако построение баллистической траектории – численное, а параболической траектории – аналитическое, что позволяет сразу получить решение подстановкой в формулу координат наблюдаемых точек. Численное построение требует больше времени для получения результата.

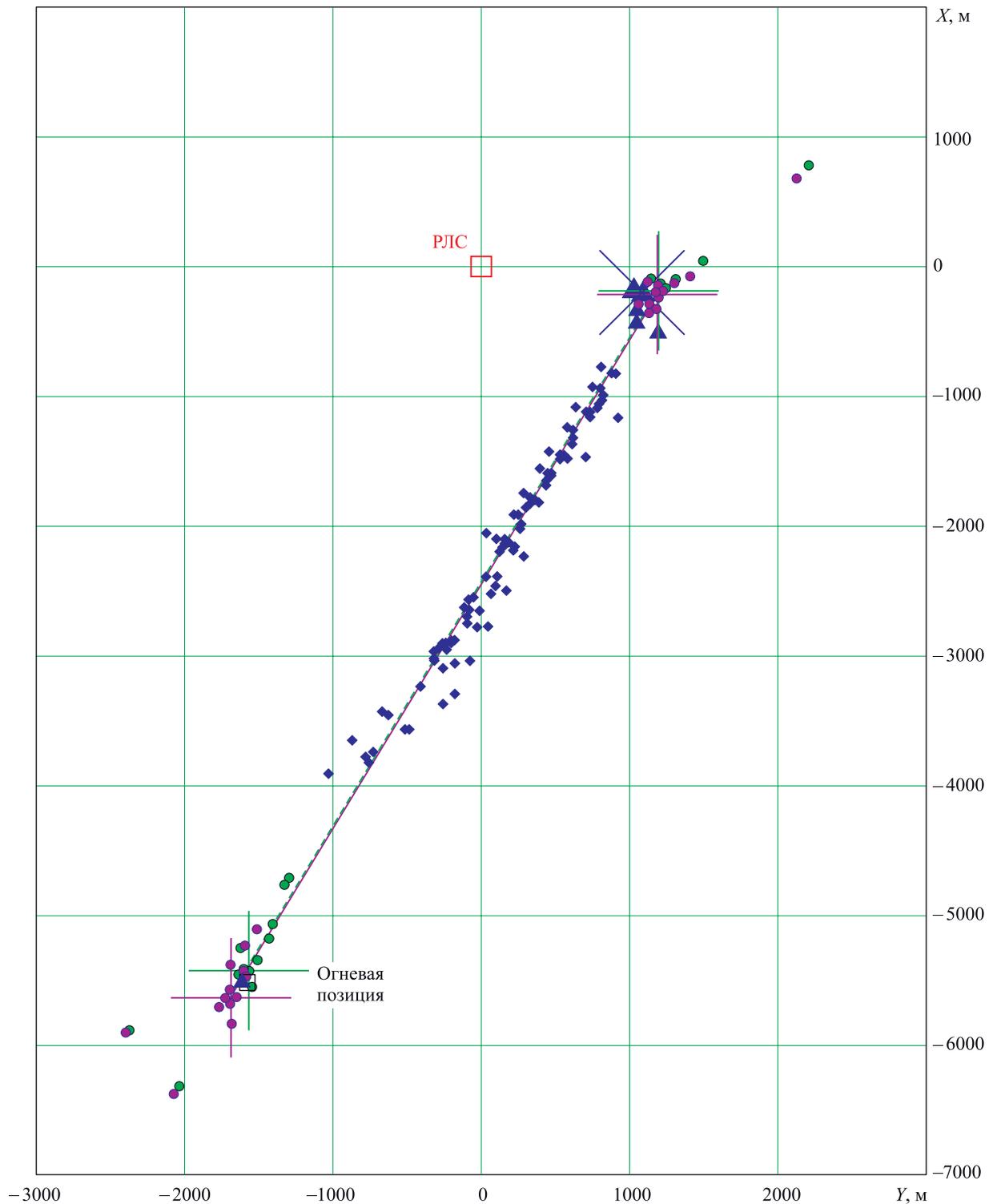
#### Анализ натуральных данных

В таблице приведены сводные данные по второму дню натуральных стрельбовых испытаний, где были предоставлены контрольные координаты огневой позиции.

При функциях  $R_1(1), R_2(2)$ , не превышающих соответствующие пороговые значения, и при ветвях параболы, опущенных вниз (при отрицательном коэффициенте при старшей

Сводные данные результатов расчета для второго дня стрельбовых испытаний

Калибр боеприпаса, мм	122
Всего трасс	21
Трассы с траекториями, определяемыми как баллистические	18
Вероятность распознавания БЦ, %	85,7
Диапазон дальности уверенного наблюдения $D$ , м	1245–4443
Диапазон углов места по точкам уверенного сопровождения, град	19,6–51,3
Средний угол места по точкам уверенного сопровождения, град	30,6
Средний ракурсный угол по точкам уверенного сопровождения $\varphi$ , град	39,0
Средняя амплитуда в относительных единицах	1413,0
Среднее за день значение функции невязки линейной аппроксимации $R_{1, \text{сред}}$ , м	34,7
Среднее за день значение функции невязки квадратичной аппроксимации $R_{2, \text{сред}}$ , м	17,0
Расстояние от ОП до медианы расчетных точек пуска (парабола/баллистика, м)	92,9 / 151,0



**Рис. 2.** Результат расчета точек пуска и падения в системе координат РЛС:

- ◆ – точки уверенного сопровождения с радара; ▲ – контрольные точки падения и пуска;
- ✕ – медиана координат контрольных точек падения; ● – точки падения (парабола);
- – точки падения (баллистика); + – медиана расчетных точек пуска и падения (парабола);
- + – медиана расчетных точек пуска и падения (баллистика)



степени параболы), траекторию можно классифицировать как баллистическую с вероятностью 85,7 % (см. таблицу). Для определения координат огневой позиции построены две траектории полета с учетом сопротивления воздуха (баллистическая) и без учета (параболическая). Полученная точность определения огневой позиции служит подтверждением предсказанной в модельном расчете и по порядку величины совпадает с точностью определения точек падения [1].

На рис. 2 представлены результаты расчета точек пуска и падения в системе координат РЛС. Для уменьшения ошибки была произведена компенсация системной ошибки взаимной ориентации системы координат Гаусса – Крюгера, в которой даны контрольные координаты огневой позиции и точек подрыва снарядов, и системы координат, связанной с РЛС.

#### **Заключение**

Проведен анализ возможности расчета координат огневой позиции. Получены результаты точности определения точек пуска. Точность определения точек пуска составила 92,9 и 151,0 м для параболической и баллистической аппроксимации соответственно. Эти вели-

чины близки по порядку величины к точности определения точек падения [1].

Проведенное исследование показало, что применение обзорной РЛС длинноволновой части дециметрового диапазона возможно не только для решения задач определения точек падения снарядов, но и для поиска местоположения огневых позиций противника.

#### **Список литературы**

1. Бляхман А. Б., Матюгин С. Н., Прохоров А. Г. О возможности применения обзорной РЛС для решения задач определения точек прицеливания (точек падения) // Вестник концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2016. № 2. С. 13–19.
2. Бахвалов Н. С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения). М.: Наука. 1975. 632 с.
3. Внешняя баллистика / А. Д. Чернозубов и др. М.: ВАИА им. Ф. Э. Дзержинского, 1954. Т. 1 – 463 с.; Т. 2 – 496 с.
4. Огневая подготовка. Ч. 1: Основы и правила стрельбы. Управление огнем / под общ. ред. Ю. И. Семенова. М.: Воениздат, 1978. 337 с.

**Поступила 22.11.16**

---

**Бляхман Александр Борисович** – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе Акционерного общества «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники», г. Нижний Новгород.  
Область научных интересов: радиолокация.

**Матюгин Сергей Никандрович** – кандидат физико-математических наук, начальник сектора Акционерного общества «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники», г. Нижний Новгород.  
Область научных интересов: распространение радиосигналов, цифровая обработка радиолокационных сигналов и оптических изображений, распознавание образов.

**Прохоров Антон Геннадьевич** – инженер первой категории Акционерного общества «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники», г. Нижний Новгород.  
Область научных интересов: разработка и исследование алгоритмов, цифровая обработка изображений, распознавание образов, нейросети.



## On the possibility of using a surveillance radar station to solve the problem of determining the starting point (firing position)

The purpose of the article was to study the application of a surveillance radar station for solving the problem of determining the coordinates of field artillery when detecting missiles. The experimental data of trajectory tests of field artillery gunnery are analyzed, the parameters of the pattern of change in missile altitude are determined using the developed two-stage approach.

*Keywords:* radar station, quadratic approximation, trajectory, track.

**Blyakhman Alexandr Borisovich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director General for Scientific Work, Joint Stock Company “Federal Research and Production Center “Nizhny Novgorod Research Institute of Radio Engineering”, Nizhny Novgorod.

Science research interests: radiolocation.

**Matyugin Sergey Nikandrovich** – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Sector, Joint Stock Company “Federal Research and Production Center “Nizhny Novgorod Research Institute of Radio Engineering”, Nizhny Novgorod.

Science research interests: propagation of radio signals, digital processing of radar signals and optical images, pattern recognition.

**Prokhorov Anton Gennadevich** – first rank engineer, Joint Stock Company “Federal Research and Production Center “Nizhny Novgorod Research Institute of Radio Engineering”, Nizhny Novgorod.

Science research interests: development and study of algorithms, digital image processing, pattern recognition, neural networks.