

УДК: 623.9

**ПАССИВНЫЙ ДАЛЬНОМЕРНО-ПЕЛЕНГАЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ  
МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ КОРРЕКТИРОВОЧНОГО СНАРЯДА  
В ДИСКРЕТНЫЕ МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ**

**PASSIVE RANGE-FINDING METHOD FOR ESTIMATING THE LOCATION  
OF A MOVING CORRECTION PROJECTILE AT DISCRETE TIME POINTS**

*Д-р техн. наук А.Д. Синюк, канд. воен. наук М.Н. Деров*

*DPhil A.D. Sinyuk, PhD M.N. Derov*

*Михайловская военная артиллерийская академия*

В статье рассматривается пассивный дальномерно-пеленгационный метод оценки местоположения движущегося корректировочного снаряда в дискретные моменты времени. Проведен анализ существующих разработок, направленных на повышение эффективности применения артиллерийских систем при стрельбе боеприпасами в обычном снаряжении и точности огня артиллерии. Предложен подход к повышению эффективности стрельбы артиллерии за счет реализации разработанного метода, обеспечивающего построение траектории полета снаряда от начальной до вероятной точки падения. В основе метода заложена гипотеза, в соответствии с которой применение корректировочного снаряда по предполагаемой цели фиксируется на траектории в определенные дискретные моменты времени. Представлено последовательное решение задачи по определению положения корректировочного снаряда на траектории.

**Ключевые слова:** метод оценки, корректировочный снаряд, траектория полета.

The article considers a passive range-finding method for estimating the location of a moving correction projectile at discrete time points. The analysis of existing developments aimed at improving the effectiveness of the use of artillery systems when firing ammunition in conventional equipment and the accuracy of artillery fire. An approach is proposed to improve the efficiency of artillery firing by implementing the developed method, which provides the construction of the projectile flight path from the initial to the probable point of fall. The method is based on the hypothesis that the use of a correction projectile on the intended target is fixed on the trajectory at certain discrete times. A sequential solution to the problem of determining the position of the correction projectile on the trajectory is presented.

**Keywords:** method for estimating, correction projectile, probable point.

**Вводная часть**

Повышение эффективности применения артиллерийских систем по различным целям является предметом научных изысканий воен-

ной науки [1–4]. В прошлом проверка научных результатов на практике нередко проводилась специально подготовленными военнослужащими, которые для целеуказания, например, должны были с риском для жизни находиться на территории контролируемой противником. Тем са-

мым увеличивались вероятность обнаружения корректировщиков артиллерийского огня, потери в личном составе, что отрицательно отражалось на эффективности огня артиллерии. Решением этих проблем является возможность применения артиллерийскими системами высокоточных боеприпасов (ВТБ) [5–6]. Однако недостаточное наличие ВТБ, из-за высокой стоимости, сложности построения системы наведения, противодействия противника и высокая динамика ведения современных боевых действий в значительной степени ограничивают условия и область применения.

Следовательно, необходим поиск новых подходов к увеличению эффективности применения артиллерийских систем при стрельбе боеприпасами в обычном снаряжении и внедрение в практику войск способов, повышающих точность огня артиллерии.

### Основная часть

Проведенный анализ существующих разработок, направленных на повышение эффективности стрельбы артиллерии, указывает на перспективность предлагаемого авторами статьи пассивного дальномерно-пеленгационного метода (ПДПМ). В основе предлагаемого метода заложена гипотеза, в соответствии с которой применение корректировочного снаряда (КС) по предполагаемой цели фиксируется в заранее построенной трехмерной системе прямоугольных координат в форме некоторых точек траектории полета (движения) КС с определенными координатами в дискретные моменты времени. Совокупность полученных точек позволит построить часть траектории полета КС в определенной системе координат с помощью методов экстраполяции [7].

Гипотеза допускает, что таким способом может быть смоделирована (построена) большая часть реальной траектории полета КС, знание о которой позволит с помощью методов перспективной экстраполяции [7] достроить недостающую часть траектории полета КС до места его падения. Соотношение координат точки падения КС с координатами цели, которую необходимо поразить, требует определенной корректировки цикла целенаведения артиллерийских систем с учетом всех возможных факторов, влияющих на траекторию полета КС в реальном масштабе

времени. Полученные скорректированные данные целенаведения в условиях оперативного цикла управления артиллерийскими системами создают предпосылки для поражения целей обычными боеприпасами, обеспечивающими достижения показателя эффективности стрельбы не ниже требуемого значения.

Содержание метода ПДПМ для оценки местоположения движущегося КС целесообразно рассмотреть в предлагаемой системе определения местоположения объекта (СОМО). Подвижным элементом системы является КС как эталонный объект, движущийся по траектории в направлении предполагаемой цели после выстрела из артиллерийского орудия (АО). Рассматриваемая область пространства описывается связанной прямоугольной системой координат (СПСК), привязанной к местности на которой производится вычислительный эксперимент с выстрелом КС из АО.

На рис. 1, в виде модели оценки координат местоположения движущегося корректировочного снаряда в дискретный момент времени, представлена связанная прямоугольная система координат, включающая три оси построения: продольная  $WZ$ , поперечная  $WX$ , нормальная  $WY$ .

Начало отсчета (условный «ноль» СПСК) — точка  $W$ . Для простоты предположим, что направление увеличения значений координат по оси  $WX$  совпадает с направлением с юга на север на местности.

Второй элемент СОМО — АО, координаты которого определены в плоскости  $XWZ$  СПСК в точке  $O(x_0, z_0)$  и представляют собой начальную дискретную точку траектории полета КС. В начале СПСК (т.е. в точке  $W$  с координатами  $z = 0, x = 0, y = 0$ ) находится третий элемент СОМО — радиоприемное устройство (радиоизмеритель) с системой приемных антенн.

Опишем назначение элементов СОМО. Начнем с АО — элемент СПСК, находящийся в точке  $O$  СПСК, координаты которой предварительно известны  $(x_0, z_0)$ . Также известно расстояние  $|WO|$  между АО и радиоприемным устройством (РПУ). АО в момент времени  $t = 0$  производит выстрел КС в направлении предполагаемой цели — прямая  $WT$  в плоскости  $XWZ$  СПСК, причем точка  $O$  принадлежит прямой  $WT$ . Электрический сигнал о времени произведенного выстрела передается (синхронизируется

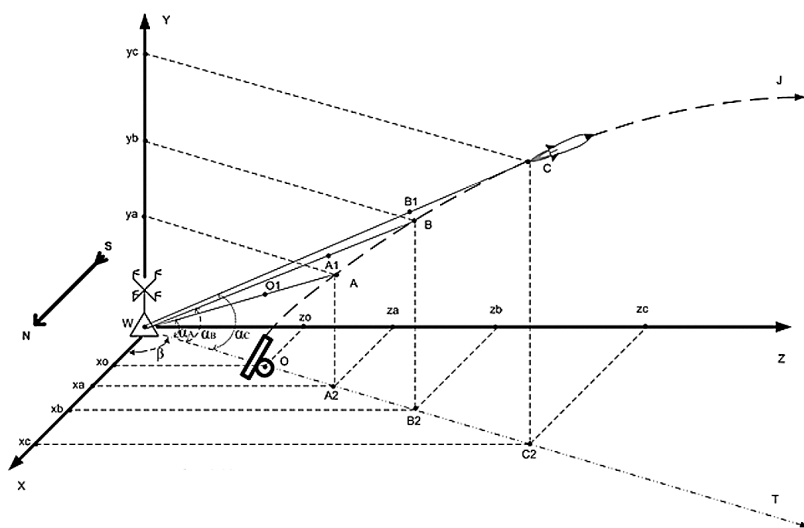


Рис. 1. Модель оценки координат местоположения движущегося корректировочного снаряда в дискретный момент времени

с РПУ) от АО на РПУ по проводной линии связи длиной  $WO$  со скоростью распространения света  $c = 3 \times 10^8$  м/с.

Следующий элемент СОМО — КС, который после выстрела из АО движется по траектории  $WJ$  в направлении предполагаемой цели. Проекция траектории  $WJ$  на плоскость  $XWZ$  СПСК это прямая  $WT$ . Во внутреннюю часть КС вмонтирован радиопередатчик специальных электрических радиосигналов, которые через определенные промежутки времени  $t$  в ходе движения (полета) КС по траектории  $WJ$  с помощью направленной антенны [8–9] самого КС излучаются в пространство в направлении РПУ (в направлении обратном направлению движения КС по траектории полета КС к предполагаемой цели) в виде модулированных сигналов электромагнитных волн (ЭМВ). Предполагается, что специальные электрические сигналы, периодически вырабатываемые передатчиком КС в виде электромагнитных волн, имеют требуемые параметры для обеспечения уверенного приема последних в РПУ и все параметры передатчика, антенны КС, выбранных сигналов, видов модуляции, несущей частоты сигнала и др. предварительно известны. Излучение сигналов рассматривается до момента столкновения КС с поверхностью земли.

Последний элемент СОМО — радиоприемное устройство (радиоизмеритель) с системой приемных антенн, которое расположено в начале СПСК, т.е. в точке  $W$  с координатами  $z = 0, x = 0, y = 0$  (рис. 1).

Назначение РПУ связано с выполнением взаимозависимых задач:

1. Уверенный прием специальных электрических сигналов, вырабатываемых передатчиком КС и излучаемых в момент времени  $t = i$  в сторону РПУ в виде электромагнитных волн с помощью своей системы приемных антенн;
2. Измерение с требуемой точностью необходимых параметров, которые несут в себе сигналы, излучаемые КС в момент времени  $t = i$ ;
3. Оценка точки нахождения КС в пространстве СПСК в момент времени  $t = i$  с помощью измеренных параметров сигналов путем определения дальности от РПУ, азимута, угла места на проекцию этой точки на прямую  $WT$  траектории полета КС;
4. Оценка координат точки нахождения КС в момент времени  $t = i$  в пространстве СПСК с помощью оцененных параметров: дальности от РПУ до точки, азимута, угла места на нее;
5. Повторение итераций 1–4 необходимое количество раз для набора, требуемого (возможного) числа точек траектории полета КС в дискретные моменты времени полета  $t$  к цели.

Совокупность полученных точек в итерациях 1–5 работы РПУ с определенными координатами в пространстве СПСК позволят построить часть траектории полета КС в предлагаемой системе СОМО с помощью методов интерполяции [7]. Таким способом может быть смоделирована большая часть реальной траектории полета КС.

Другая часть реальной траектории полета КС до места столкновения последнего с земной поверхностью (целью и т.д.), информация о которой отсутствует (в связи с неуверенным приемом специальных сигналов РПУ по мере удаления КС от радиоизмерителя, изменением условий распространения радиоволн, метеоусловий, кривизной земной поверхности, сложной помеховой обстановкой, отказом элементов КС и т.д.) может быть смоделирована на основе уже построенной части траектории полета КС с помощью методов перспективной экстраполяции [7].

Таким образом, задача предлагаемого метода в СОМО, включающей в себя элементы РПУ, АО и КС, расположенные в привязанной к СПСК, заключается в определении координат множества точек пространства СПСК траектории полета КС после выстрела АО в направлении предполагаемой цели, полученных последовательно в дискретные моменты времени излучений сигналов электромагнитных волн с выхода передатчика КС и принимаемых антенной системой РПУ с последующей обработкой в нем для навигационного описания траектории полета КС.

Для решения задачи экстраполяции траектории КС принят ряд ограничений и допущений.

1. Идеальная работа систем синхронизации РПУ и КС по параметру  $f_0$  — несущей частоте модулированного специального электрического сигнала КС. Использование в КС и РПУ высокостабильного опорного генератора с относительной нестабильностью порядка  $10^{-9} - 10^{-12}$ .

2. Идеальная подстройка (юстировка) антенных систем РПУ по максимальному уровню принимаемого сигнала. Использование антенн на РПУ и КС с узкой диаграммой направленности.

3. Плоский фронт приходящей ЭМВ на антенную систему РПУ перпендикулярен траектории прихода сигнала ЭМВ. Высокая точность оценки параметров, принимаемых модулированных сигналов ЭМВ в РПУ.

4. Идеальная (надежная) работа всех систем и элементов внутренней части КС в условиях высокой ударной нагрузки, высоких температур и вращающего момента, образования плазменного облака.

5. Баллистические характеристики КС полностью совпадают с обычным осколочно-фугасным снарядом. В КС используется электрическая аккумуляторная батарея с большим током разряда.

6. Прямолинейное распространение ЭМВ с постоянной скоростью распространения света  $c = 3 \times 10^8$  м/с (отсутствие рефракции и дифракции ЭМВ).

7. Обработка информации в РПУ и КС осуществляется мгновенно.

8. Поверхность земли (плоскость  $XWZ$  в СПСК) — плоская (не учитывается кривизна и неровности земной поверхности).

9. Точная привязка элементов СОМО к координатам связанной СПСК и привязка самой СПСК к местности, в которой проводится исследование предлагаемого метода.

10. Идеальная синхронизация времени выстрела АО КС путем передачи сигнала о моменте времени произведенного выстрела от АО на РПУ по проводной линии связи длиной  $WO$  со скоростью распространения света  $c = 3 \times 10^8$  м/с.

Используемые исходные данные:

1. РПУ (радиоизмеритель) с системой приемных антенн находится в начале СПСК, т.е. в точке  $W$  с известными координатами  $z = 0, x = 0, y = 0$ ;

2. Координаты АО определены в плоскости  $XWZ$  в точке  $O(x_0, z_0)$  и представляют собой начальную дискретную точку траектории полета КС.

3. Расстояние  $|WO|$  между АО и РПУ известно;

4. Направление на местности на предполагаемую цель — прямая  $WT$ , представляющая собой проекцию траектории полета КС  $WJ$  на плоскость  $XWZ$  СПСК;

5. Предварительно известны (заданы) мощность, поляризация, тип используемого сигнала КС, вид модуляции, несущая частота сигнала  $f_0$ , ожидаемые типы сигналов, момент времени снаряд КС  $t = 0$ ;

6. Известна (одинакова) одинакова длительность интервала времени между любыми двумя последовательными событиями излучения специального сигнала с КС в сторону РПУ —  $\Delta t, c$ ;

7. Известны (заданы) длина базы  $|QLL_1|$  [м] антенной системы РПУ для оценки азимута, расстояние  $|QIW|$  [м] от антенны  $QI$  до РПУ, расстояние  $|L_1W|$  [м] от антенны  $L_1$  до РПУ, причем  $|QIW| = |L_1W|$  (см. рис. 2);

8. Известны (заданы) длина базы  $|QL|$  [м] антенной системы РПУ для оценки угла места, расстояние  $|QW|$  [м] от антенны  $Q$  до РПУ, расстояние  $|LW|$  [м] от антенны  $L$  до РПУ, причем  $|QW| = |LW|$  (см. рис. 3).

Определение координат дискретных точек траектории полета КС осуществляется следующим образом.

Используется термин итерация для описания предлагаемого метода. Итерация — после-

довательность событий от момента времени завершения предыдущей итерации по оценке координат предыдущей дискретной точки траектории (ДТТ) полета КС до момента времени завершения текущей итерации.

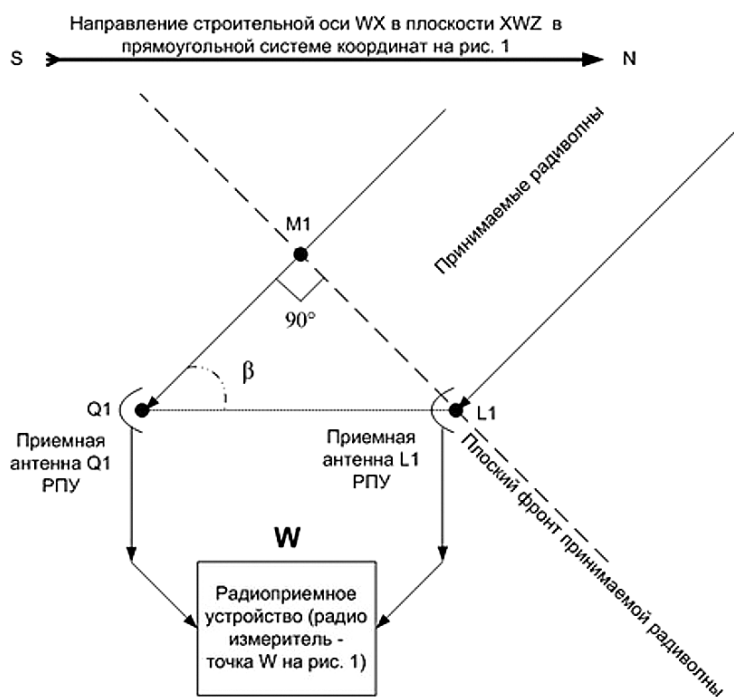


Рис. 2. Модель оценки азимута проекции  $WT$  траектории корректировочного снаряда на плоскость  $XWZ$  в антенной системе радиоприемного устройства

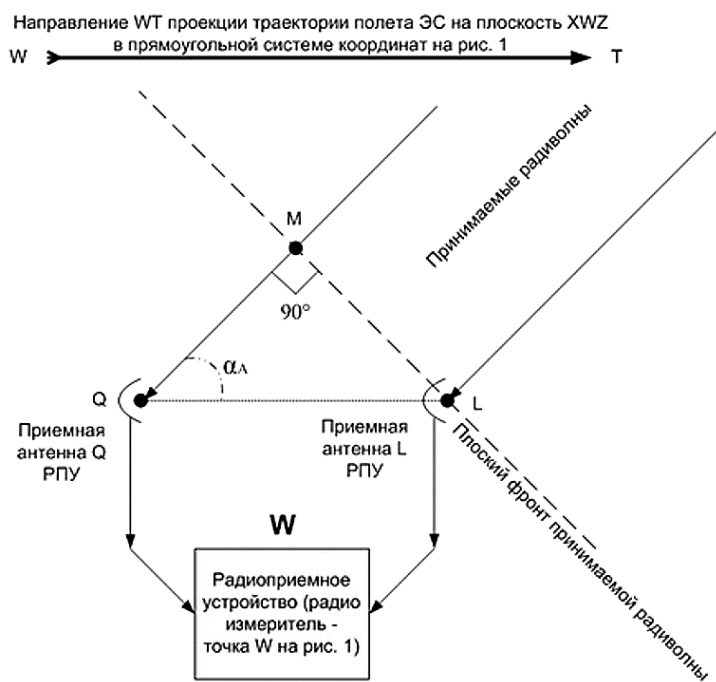


Рис. 3. Модель оценки угла места проекции  $WT$  траектории корректировочного снаряда на плоскость  $XWZ$  в антенной системе радиоприемного устройства



Итерация включает последовательность событий:

- движение КС по дуге траектории от предыдущей ДТТ до текущей ДТТ;
- формирование и передача сигнала передатчиком КС в направлении РПУ;
- прием сигнала в РПУ;
- обработка сигнала и формирование координат текущей ДТТ в РПУ.

Особенность событий первой итерации: выстрел АО КС из точки  $O$  с координатами  $(x_0, z_0, 0)$  — начальная дискретная точка траектории полета КС, движение КС по дуге траектории от начальной ДТТ до первой ДТТ; формирование и передача сигнала передатчиком КС в направлении РПУ; прием сигнала в РПУ; обработка сигнала и формирование координат первой ДТТ в РПУ.

Особенностью предлагаемого метода является наличие случайного характера оценки длины интервала времени от момента времени выстрела КС  $t = 0$  из АО, до момента времени первого излучения сигнала КС (в точке  $A$  на рис. 1). Последующие итерации (последующие моменты времени излучения сигнала КС в точках  $B$ ,  $C$  и т.д. на рис. 1) производятся через известные (заданные) одинаковые интервалы времени  $\Delta t$ , под управлением высокостабильного опорного генератора внутри КС. Для более детального описания предлагаемого метода рассмотрим хронологию событий в процессе его использования и полученные оценки.

*Первая итерация.*

1. Момент времени  $t = 0$ . Измерение и фиксация момента времени. Производится выстрел КС из АО. Радиальная скорость удаления КС от РПУ  $v(t=0) = v_0 = 0$  м/с. Сигнал о времени произведенного выстрела передается (синхронизируется с РПУ) от АО на РПУ по проводной линии связи длиной  $|WO|$  с известной скоростью. Обозначим переменной расстояние  $r_0 = |WO|$ .

2. Момент времени  $t = 0^w$ . Измерение и фиксация времени. Фиксация принимаемого сигнала от АО о времени произведенного выстрела на РПУ (на выходе проводной линии связи длиной  $|WO|$ ).

3. Момент времени  $t = t_1$ . КС преодолел дугу ОА и находится в первой точке ДТТ траектории своего полета (точка  $A$  на рис. 1), в которой КС проводит первую итерацию (т.е. излучает сигнал КС в направлении РПУ). Радиальная скорость

удаления КС от РПУ  $v(t=t_1) = v_1$  м/с, причем КС удалился (по радиусу) от точки  $W$  на расстояние  $|O1A|$ . Обозначим переменной  $r_1 = |WA|$ . Расстояние (по радиусу)  $|WA|$  от точки  $W$  до точки ДТТ  $A$  включает в себя расстояние  $|WO1|$  и расстояние  $|O1A|$ , причем выполняется условие равенства расстояний:

$$|WO1| = WO = r_0. \quad (1)$$

Тогда,

$$\begin{aligned} r_1 = |WA| &= |WO1| + |O1A| = \\ &= |WO| + |O1A| = r_0 + |O1A|. \end{aligned} \quad (2)$$

Средняя радиальная скорость удаления КС от РПУ на первой итерации может быть найдена из выражения:

$$v_1^{cp} = \frac{v_0 + v_1}{2} = \frac{0 + v_1}{2} = \frac{v_1}{2}. \quad (3)$$

4. Момент времени  $t = t_1^w$ . Измерение и фиксация времени. Прием сигнала первой итерации от КС на антенну  $L1$  антенной системы РПУ (см. рис. 2).

Момент времени  $t = t_{11}^w$ . Измерение и фиксация времени. Прием сигнала первой итерации от КС на антенну  $L$  антенной системы РПУ (см. рис. 3).

Момент времени  $t = t_1^{w1}$ . Измерение и фиксация времени. Прием сигнала первой итерации от КС на антенну  $Q1$  антенной системы РПУ (см. рис. 2).

Момент времени  $t = t_{11}^{w1}$ . Измерение и фиксация времени. Прием сигнала первой итерации от КС на антенну  $Q$  антенной системы РПУ (см. рис. 3).

Сигнал преодолел расстояние  $|AW|$ . На РПУ проводится оценка радиальной скорости  $v(t=t_1) = v_1$  с учетом эффекта Доплера [10, 11]. Для этого измеряется несущая частота  $f_1$  принимаемого сигнала первой итерации КС, которая будет меньше известной несущей частоты излучаемого сигнала с выхода передатчика КС  $f_0$ , т.к. в соответствии с эффектом Доплера КС удаляется радиально от РПУ. Тогда,

$$v_1 = \frac{c}{f_0} (f_0 - f_1) = \phi \Delta f, \quad (4)$$

где  $c = 3 \times 10^8$  — скорость распространения света, м/с;

$\phi$  — длина волны ЭМВ, м;

$\Delta f$  — число определяющее уменьшение несущей частоты принимаемого сигнала, Гц.

С учетом (1)–(4) определяется расстояние  $|AW|$  по формуле:

$$|AW| = |WA| = |WO| + \frac{(t_1^w - 0^w)}{\left(\frac{1}{v_1^{cp}} - \frac{1}{c}\right)} = \frac{(t_1^w - 0^w)}{(2v_1^{-1} - c^{-1})}.$$

С помощью антенной системы РПУ азимут  $\beta$  на ДТТ  $A$  оценивается по формуле:

$$\beta = \arccos\left(\frac{|M1Q1|}{|Q1L1|}\right) = \arccos\left(\frac{c(t_1^{w1} - t_1^w)}{|Q1L1|}\right),$$

где  $|M1Q1|$  — расстояние, определяющее запаздывание прихода сигнала КС первой итерации на антенну  $L1$  по сравнению с антенной  $L1$ , м.

Затем с помощью антенной системы РПУ (см. рис. 1 и 3) оценивается угол места  $\alpha_A$  на ДТТ  $A$ :

$$\alpha_A = \arccos\left(\frac{|MQ|}{|QL|}\right) = \arccos\left(\frac{c(t_{11}^{w1} - t_{11}^w)}{|QL|}\right),$$

где  $|MQ|$  — расстояние определяющее запаздывание прихода сигнала КС первой итерации на антенну  $Q$  по сравнению с антенной  $L$ , м.

Проекция ДТТ  $A$  на плоскость  $XWZ$  — точка  $A2$  (рис. 1). По оси  $Y$  координату ДТТ  $A$  определяет расстояние  $|A2A|$ , тогда:

$$ya = |A2A| = |WA| \sin(\angle AWA2) = r_1 \sin(\alpha_A).$$

В целях нахождения координаты  $xa$  ДТТ  $A$  первоначально находят расстояние  $|WA2|$  по формуле:

$$|WA2| = |WA| \cos(\angle AWA2) = r_1 \cos(\alpha_A).$$

Координата  $xa$  ДТТ  $A$  определяется из выражения:

$$xa = |WA2| \cos(\beta).$$

Координата  $za$  ДТТ  $A$  определяется по формуле:

$$za = |WA2| \sin(\beta).$$

*Вторая итерация.*

1. Время  $t = t_2 = t_1 + \Delta t$ , где  $\Delta t$  — заданная одинаковая длительность промежутков времени между любыми двумя последовательными моментами нахождения в последовательных ДТТ и излучения специального сигнала с КС в сторону РПУ.

КС преодолел дугу  $AB$  и находится во второй точке ДТТ траектории своего полета (точка  $B$  на рис. 1), в которой КС проводит вторую итерацию (т.е. время второго излучения сигнала КС в направлении РПУ). Радиальная скорость удаления КС от РПУ  $v(t = t_2) = v_2$  м/с, причем КС удалился (по радиусу в сравнении с предыдущей итерацией) от точки  $W$  на расстояние  $|AB|$ . Обозначим это расстояние (по радиусу) переменной  $r_2 = |WB|$ . Расстояние  $|WB|$  от точки  $W$  до точки ДТТ  $B$  включает в себя расстояние  $|WA1|$  и расстояние  $|AB|$ , причем выполняется условие равенства расстояний:

$$|WA1| = |WA| = r_1.$$

Тогда,

$$\begin{aligned} r_2 = |WB| &= |WA1| + |AB| = \\ &= |WA| + |AB| = r_1 + |AB|. \end{aligned} \quad (5)$$

2. Время  $t = t_2^w$ . Измерение и фиксация времени. Прием сигнала второй итерации от КС на антенну  $L1$  антенной системы РПУ (рис. 2).

Время  $t = t_{21}^w$ . Измерение и фиксация времени. Прием сигнала первой итерации от КС на антенну  $L$  антенной системы РПУ (рис. 3).

Время  $t = t_2^{w1}$ . Измерение и фиксация времени. Прием сигнала второй итерации от КС на антенну  $Q1$  антенной системы РПУ (рис. 2).

Время  $t = t_{21}^{w1}$ . Измерение и фиксация времени. Прием сигнала первой итерации от КС на антенну  $Q$  антенной системы РПУ (рис. 3).

Сигнал преодолел расстояние  $|AW|$ . Знание величины  $\Delta t$  существенно упрощает на второй и последующих итерациях выражение и для вычисления на РПУ радиальной дальности КС, тогда с учетом формул (2) и (5) можно записать:

$$r_2 = |WB| = r_1 + c(t_2^w - t_1^w - \Delta t).$$

С помощью антенной системы РПУ (рис. 1 и 2) оценивается азимут  $\beta$  на ДТТ  $B$  по формуле:

$$\beta = \arccos\left(\frac{|M1Q1|}{|Q1L1|}\right) = \arccos\left(\frac{c(t_2^{w1} - t_2^w)}{|Q1L1|}\right). \quad (6)$$

Затем с помощью антенной системы РПУ (рис. 1 и рис. 3) оценивается угол места  $\alpha_B$  на ДТТ  $B$ :

$$\alpha_B = \arccos\left(\frac{|MQ|}{|QL|}\right) = \arccos\left(\frac{c(t_{21}^{w1} - t_{21}^w)}{|QL|}\right). \quad (7)$$

Проекция ДТТ  $B$  на плоскость  $XWZ$  — точка  $B2$  (рис. 1). По оси  $Y$  координату ДТТ  $B$  определяет расстояние  $|B2B|$ , тогда:

$$yb = |B2B| = |WB| \sin(\angle BWB2) = r_2 \sin(\alpha_B). \quad (8)$$

В целях нахождения координаты  $xb$  ДТТ  $B$  первоначально находят расстояние  $|WB2|$  по формуле:

$$|WB2| = |WB| \cos(\angle BWB2) = r_2 \cos(\alpha_B). \quad (9)$$

Координата  $xb$  ДТТ  $B$  определяется формулой:

$$xb = |WB2| \cos(\beta). \quad (10)$$

Координата  $zb$  ДТТ  $B$  определяется из выражения:

$$zb = |WB2| \sin(\beta). \quad (11)$$

#### Последующие итерации.

Описание последующей итерации —  $i$ , подобно описанию второй. Выражение для вычисления на РПУ радиальной дальности КС  $r_i$  для итераций с номером  $i > 1$  можно записать в общем виде, как:

$$r_i = r_{i-1} + c(t_i^w - t_{i-1}^w - \Delta t),$$

где  $r_{i-1}$  — радиальная дальность КС для  $(i-1)$ -й итерации;

$t_i^w$  — время приема сигнала антенной  $L1$  на  $i$ -й итерации, с;

$t_{i-1}^w$  — время приема сигнала антенной  $L1$  на  $(i-1)$ -й итерации, с;

$\Delta t$  — одинаковая длительность промежутка времени между любыми двумя моментами времени нахождения в последовательных ДТТ и излучения специального сигнала с КС в сторону РПУ, с.

Для итераций с номером  $i > 1$  координаты ДТТ могут быть определены в соответствии с последовательностью вычислений координат второй ДТТ, приведенной в выражениях (6)–(11).

#### Заключение

Таким образом, представленная последовательность решения задачи по определению положения КС на траектории, а именно изложенный авторами статьи подход к повышению эффективности применения артиллерийских систем с помощью ПДПМ оценки местоположения движущегося корректировочного снаряда в дискретные моменты времени дает возможность заключить следующее:

1. Применение разработанного ПДПМ обеспечит построение траектории движущегося корректировочного снаряда в пространстве, описываемом СПСК от начальной точки выстрела артиллерийского орудия до вероятной точки его падения;

2. Реализация предлагаемого метода позволит переходить к стрельбе на поражение после введения корректуры по первому не разорвавшемуся корректировочному снаряду, что повысит эффективность применения артиллерийских систем.

Вместе с тем, представленный научно-методический подход не отрицает проведения дальнейших исследований по улучшению ПДПМ, наиболее интересными и значимыми в которых могут быть вопросы:

– оценки влияния различных факторов (метеорологических, геофизических) на точность интерполяции и экстраполяции траектории КС;

– обоснования основных характеристик элементов системы предполагаемого метода (мощность передатчика, вид сигнала и его параметры и др.), помехоустойчивого кодирования, идентификация, модуляция антенны КС, разработка тактико-технических требований и определение



необходимого количества КС в боевом комплексе артиллерийской системы (орудия) и подразделений и др.

### Литература

1. Воробьев А.С., Гасюк Д.П., Сосюра О.В. и др. Основы теории эффективности боевых действий ракетных войск и артиллерии. — М.: МО РФ. 2003. 168 с.
2. Бобриков А.А., Авотынь Б.А., Анисимов Е.Г. и др. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии: Военно-теоретический труд. — СПб: АВН, СПб рег. отд. 2006. 421 с.
3. Самоленков В.А. и др. Введение в теорию эффективности боевых действий ракетных войск и артиллерии: Монография. — М.: ВА ГШ ВС РФ. 2008. 180 с.
4. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Герцев В.Н. Оценивание эффективности системы ракетно-артиллерийского вооружения ракетных войск и артиллерии // Военная мысль. 2001. № 4. С. 39–46.
5. Карпов И.П. Приоритеты развития высокоточного оружия // Военный парад. 2009. № 5 (95). С. 22–24.
6. Киселёв В.А. Высокоточные сражения в войне будущего // Армейский сборник: Научно-методический журнал МО РФ. 2017. № 2. С. 24–32.
7. Берг Й., Лэфстрем Й. Интерполяционные пространства: Введение. Пер. с англ. В.С. Крючкова, П.И. Лизоркина. — М.: Мир. 1980. 264 с.
8. Ярлычков М.С. Статистическая теория радионавигации. — М.: Радио и связь. 1985. 344 с.
9. Ерохин Г.А., Чернов О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Д. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. — М.: Горячая линия – Телеком. 2007. 496 с.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Теория поля. 7-е изд., испр. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. 512 с.
11. Кологривов В.Н. Эффект Доплера в классической физике: уч. мет. пособ. — М.: МФТИ. 2012. 32 с.

### References

1. Vorobyev A.S., Gasyuk D.P., Sosyura O.V. et al. Fundamentals of the theory of the effectiveness of combat operations of rocket troops and artillery. — Moscow: Ministry of defense of the Russian Federation. 2003. 168 p.
2. Bobrikov A.A., Avotyn B.A., Anisimov E.G., et al. Evaluation of the effectiveness of fire damage by missile strikes and artillery fire: a Military theoretical work. — Saint-Petersburg: Academy of military Sciences, Saint Petersburg regional branch. 2006. 421 p.
3. Samolenkov V.A., et al. Introduction to the theory of the effectiveness of combat operations of rocket troops and artillery: Monograph. — Moscow: Military Academy of the General staff of the Armed Forces of the Russian Federation. 2008. 180 p.
4. Anisimov V.G., Anisimov E.G., Gertsev V.N. Evaluating the effectiveness of the system of rocket and artillery weapons of rocket troops and artillery // Military thought. 2001. № 4. P. 39–46.
5. Karpov I.P. Priorities for the development of high-precision weapons // Military parade. 2009. № 5 (95). P. 22–24.
6. Kiselev V.A. Precision battles in future war // Military collector: Scientific-methodical journal of Russian defense Ministry. 2017. № 2. P. 24–32.
7. Berg J., Lefström J. Interpolation Spaces: An Introduction. Trans. from English. V.S. Kryuchkova, P.I. Lizorkina. — Moscow: Mir. 1980. 264 p.
8. Yarlychkov M.S. Statistical theory of radio navigation. — Moscow: Radio and communication. 1985. 344 p.
9. Erokhin G.A., Chernov O.V., Kozyrev N.D., Kocherzhevsky V.D. Antenna-feeder devices and radio wave propagation. — Moscow: Hotline–Telecom. 2007. 496 p.
10. Landau L.D., Lifshits E.M. Theoretical physics. Field theory. 7th ed., cor. — M.: Nauka. Gen. ed. Phys. - Mat. lit. 1988. 512 p.
11. Kologrivov V.N. Doppler effect in classical physics: training manual. — Moscow: MFTI. 2012. 32 p.