

## УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДВУХСТОРОННИХ ТАКТИЧЕСКИХ УЧЕНИЙ

к.в.н. В.В. Федченко, О.И. Вотяков  
(представил д.т.н., проф. И.О. Кириченко)

*Рассматривается возможность создания учебно-тренировочного комплекса для проведения двухсторонних тактических учений общевойсковых подразделений (частей) на базе их штатного вооружения путем установки автономных легкоъемных датчиков, объединяемых в пространственно-распределенную локальную сеть.*

Средствами массовой информации сообщается о создании за рубежом учебно-тренировочных комплексов (УТК) для проведения двухсторонних тактических учений подразделений (частей) сухопутных войск, которые позволяют с высокой степенью объективности оценивать как подготовленность командиров и штабов, так и полевую выучку подразделений. Эти качества создаваемые учебно-тренировочные комплексы приобретают благодаря применению GPS-технологии в совокупности с современной аппаратурой передачи данных (АПД) и вычислительными средствами.

Возможная структурная схема УТК для проведения двухсторонних тактических учений подразделений (частей) сухопутных войск представлена на рис. 1.

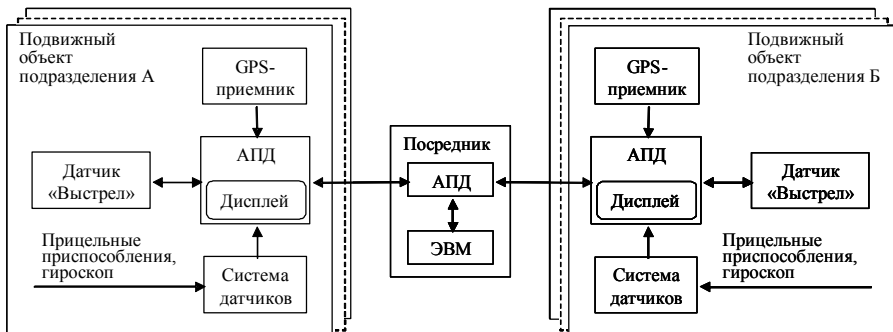


Рис. 1. Структурная схема учебно-тренировочного комплекса (вариант)

На подвижные объекты подразделений, участвующих в тактических учениях, устанавливаются:

- GPS-приемники, с помощью которых определяются текущие координаты подвижных объектов;
- система датчиков, сопряженных с трехстепенным гироскопом и прицельными приспособлениями объекта (танка, БМП, БТР, САУ), которая предназначена для получения данных, необходимых для определения положения в пространстве ствола орудия объекта;
- аппаратура передачи данных с дисплеем и подключенным к ней датчиком, предназначенным для фиксирования момента «выстрела». По сигналу, поступающему с этого датчика в момент приведения в действие спускового устройства оружия, с GPS-приемника и системы датчиков, установленных на объекте, считываются данные, необходимые для определения положения ствола орудия в пространстве. Эти данные поступают на АПД, установленную на подвижном объекте, и передаются на АПД посредника.

Данные с АПД посредника поступают в ЭВМ, с помощью которой по данным о положении ствола орудия объекта, произведшего выстрел, а также по данным о боеприпасе, о начальной скорости снаряда и метеоусловиях рассчитывается траектория «полета снаряда» и вычисляется момент его «подрыва». В рассчитанный момент времени АПД посредника передает сигнал на АПД подвижных объектов подразделений, участвующих в учениях. По этому сигналу координаты GPS-приемников, установленных на подвижных объектах, по каналам передачи данных поступают в ЭВМ посредника. С помощью имитационной модели, реализованной для ЭВМ, определяются объекты, «пораженные» в результате «подрыва снаряда». На «пораженные» объекты передается сигнал о «выходе» их из строя.

Для определения объектов, «пораженных» в результате «выстрела» может быть предложен такой алгоритм вычислений:

- по данным о положении в пространстве ствола орудия, начальной скорости снаряда и состоянии атмосферы вычислить координаты центра рассеивания снарядов решением системы дифференциальных уравнений полета снаряда, либо с использованием данных таблиц стрельбы;
- вычислить вероятность «поражения» объектов «противника», находящихся в районе «падения» снаряда, выбирая метод расчета в зависимости от типа снаряда и типа цели;
- по вероятности поражения с помощью имитационной модели, реализующей метод Монте-Карло, определить пораженные объекты и степень их поражения.

Создание УТК по описанной схеме (рис. 1) будет возможным, если боевая техника и вооружение будут иметь в своем составе технические средства (устройства), обеспечивающие получение данных, необходимых для выполнения расчетов. Боевая техника и вооружение, которыми оснащены СВ ВС Украины, такими средствами не оборудованы. Для того, чтобы из-

бежать выполнения доработок техники и вооружения при создании учебно-тренировочного комплекса, состав оборудования, устанавливаемого на подвижные объекты подразделений, привлекаемых к проведению учений, может быть изменен (рис. 2). При этом GPS-приемники должны быть закреплены на стволе орудия, например, как показано на рис. 3.

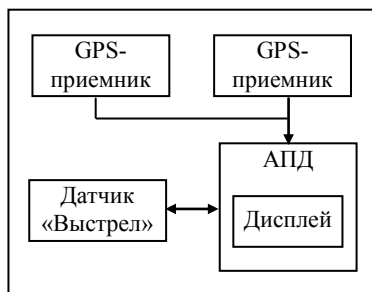


Рис. 2. Оборудование, устанавливаемое на подвижный объект (вариант)

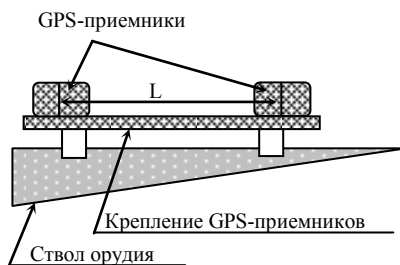


Рис. 3. Размещение GPS-приемников на стволе орудия (вариант)

Необходимо также, чтобы точность определения координат GPS-приемников не оказывала существенного влияния на точность оценки результатов «стрельбы». Рассмотрим систему, состоящую из ствола артиллерийского орудия и двух закрепленных на нем GPS-приемников (рис. 3) в трехмерной декартовой системе координат, приняв допущения:

- 1) GPS-приемники закреплены на стволе орудия таким образом, что прямая, проведенная через геометрические центры их антенн, параллельна оси канала ствола, то есть, систематическая ошибка определения положения ствола орудия в пространстве отсутствует;
- 2) расстояние между GPS-приемниками  $L$  измеряется со среднеквадратичным отклонением (СКО)  $\sigma_L$ ;
- 3) ошибки определения относительных координат GPS-приемников не коррелированы;
- 4) ствол орудия и крепление GPS-приемников рассматриваются как абсолютно твердое тело.

Угол  $\varphi$  между осью симметрии ствола и горизонтальной плоскостью может быть вычислен через координаты GPS-приемников  $G_1(x_1, y_1, h_1)$  и  $G_2(x_2, y_2, h_2)$  по формуле

$$\varphi(h, L) = \arcsin\left(\frac{h}{L}\right), \quad (1)$$

где  $h = h_2 - h_1$ .

Угол  $\gamma$  между проекцией  $L$  на плоскость  $XOY$  и координатной осью

$X$  может быть вычислен по формуле

$$\gamma(x, y) = \arctg\left(\frac{y}{x}\right), \quad (2)$$

где  $x = x_2 - x_1$ ,  $y = y_2 - y_1$ .

Рассматривая (2) как функцию двух случайных величин  $h$  и  $L$ , найдем дисперсию величины  $\varphi$ :

$$D_\varphi = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial h}\right)^2 \sigma_h^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial L}\right)^2 \sigma_L^2 = \frac{L^2 \sigma_h^2 + h^2 \sigma_L^2}{L^2 (L^2 - h^2)}, \quad (3)$$

где  $\sigma_h$  – СКО измерения величины  $h$ ;  $\sigma_L$  – СКО измерения величины  $L$ .

Аналогично, дисперсия величины  $\gamma$  равна

$$D_\gamma = \left(\frac{\partial \gamma}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial \gamma}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 = \frac{y^2 \sigma_x^2 + x^2 \sigma_y^2}{(x^2 + y^2)^2}, \quad (4)$$

где  $\sigma_x$  – СКО величины  $x$ ;  $\sigma_y$  – СКО величины  $y$ .

Ошибки вычисления координат центра рассеивания снарядов по данным о положении ствола орудия в пространстве обусловлены:

- ошибками вычисления поправок за отклонение метеорологических условий стрельбы от нормальных;
- ошибками определения баллистических данных;
- точностью определения значений  $\varphi$  и  $\gamma$ ;
- точностью методики расчетов.

Срединная ошибка вычисления дальности стрельбы за счет ошибок метеорологической подготовки [1] равна

$$E_{\text{метео}} = \sqrt{E_w^2 \left(\frac{\partial x}{\partial w}\right)^2 + E_T^2 \left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + E_h^2 \left(\frac{\partial x}{\partial h}\right)^2}, \quad (5)$$

где  $E_w$  – срединная ошибка определения проекций баллистического ветра;

$E_T$  – срединная ошибка определения баллистической температуры;

$E_h$  – срединная ошибка определения атмосферного давления;

$\left(\frac{\partial x}{\partial w}\right)$ ,  $\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)$ ,  $\left(\frac{\partial x}{\partial h}\right)$  – коэффициенты чувствительности данного

типа артиллерии к изменению баллистического ветра, баллистической температуры и атмосферного давления.

Срединная ошибка вычисления дальности стрельбы за счет ошибок баллистической подготовки [1] равна

$$E_{\delta_{\text{алл}}} = \sqrt{E_{v_0}^2 \left( \frac{\partial x}{\partial v_0} \right)^2 + E_{\tau_3}^2 \left( \frac{\partial x}{\partial \tau_3} \right)^2 + E_{m.c.x}^2}, \quad (6)$$

где  $E_{v_0}$ ,  $E_{\tau_3}$  – срединная ошибка определения начальной скорости снаряда и температуры заряда;  $E_{m.c.x}$  – срединная ошибка определения дальности стрельбы за счет неточности таблиц стрельбы;

$\left( \frac{\partial x}{\partial v_0} \right)$ ,  $\left( \frac{\partial x}{\partial \tau_3} \right)$  – коэффициенты чувствительности данного типа артиллерии к изменению начальной скорости снаряда и температуры заряда.

Полагая, что причины возникновения ошибок независимы, оценим точность вычисления дальности «стрельбы»:

$$E_x = \sqrt{E_{\text{метео}}^2 + E_{\delta_{\text{алл}}}^2 + E_{x\varphi}^2}, \quad (7)$$

где  $E_{x\varphi}$  – срединная ошибка вычисления дальности «стрельбы», зависящая от точности определения угла возвышения ствола по данным GPS-приемников.

Вычислим отклонение дальности «стрельбы»  $dx$  за счет ошибки определения угла  $\varphi$ :

$$dx(\Delta\varphi) = \Delta X_{\text{мыс}} \cdot k \cdot \Delta\varphi, \quad (8)$$

где  $\Delta X_{\text{мыс}}$  – табличная поправка в дальность стрельбы на отклонение угла возвышения ствола в одно деление прицела (одну тысячную);  $\Delta\varphi$  – ошибка определения угла  $\varphi$ ;  $k$  – коэффициент пересчета величины  $\varphi$  в деления прицела (тысячные).

Тогда, на основании теоремы о вынесении неслучайной величины за знак СКО, а также с учетом соотношения СКО и срединной ошибки

$$E_{x\varphi} = \rho \left| \Delta X_{\text{мыс}} k \right| \sqrt{2 D_{\varphi}}. \quad (9)$$

Аналогичным образом определим ошибку вычисления координат центра рассеивания «снарядов» в направлении, ортогональном направлению стрельбы (далее – в «боковом направлении», «по направлению»):

$$E_z = \sqrt{E_{z\text{метео}}^2 + E_{z\gamma}^2}, \quad (10)$$

где  $E_{z\gamma}$  – срединная ошибка по направлению точности определения азимута стрельбы по данным GPS-приемников.

Ошибка в боковом направлении за счет ошибок метеорологической подготовки может быть вычислена по формуле [1]:

$$E_{z,метео} = \sqrt{E_w^2 \left( \frac{\partial z}{\partial w} \right)^2}, \quad (11)$$

где  $\left( \frac{\partial z}{\partial w} \right)$  – коэффициент чувствительности данного типа артиллерии к изменению баллистического ветра.

На основании предположения о независимости причин возникновения ошибок срединную ошибку по направлению вычислим по формуле

$$E_z = \sqrt{E_{z,метео}^2 + E_{z\gamma}^2}. \quad (12)$$

Отклонение координат точки «падения» снаряда в боковом направлении за счет ошибки определения угла  $\gamma$ :

$$dz(\Delta\gamma) = D \sin \Delta\gamma, \quad (13)$$

где  $\Delta\gamma$  – ошибка определения угла  $\gamma$ ,  $D$  – дальность стрельбы.

Применив метод линеаризации функции, вычислим срединное отклонение координат точки «падения» снаряда по направлению. Полагая, что математическое ожидание  $\Delta\gamma$  равно нулю и учитывая соотношение СКО и срединной ошибки, получим

$$E_{z\gamma} = \rho D \sqrt{2 D_\gamma}. \quad (14)$$

Таким образом, координаты  $x$ ,  $y$  центра рассеивания снарядов по данным о положении ствола орудия в пространстве будут вычислены со срединными ошибками  $E_x$ ,  $E_z$ , которые, в отличие от срединных ошибок стрельбы:

- не содержат ошибок топогеодезической и технической подготовки;
- содержат ошибки, обусловленные ошибками определения углов

$\varphi$  и  $\gamma$  по данным GPS-приемников.

Сравнивая известные из практики [2] значения срединных ошибок определения исходных данных стрельбы (табл.1) и значения  $E_x$ ,  $E_{x\varphi}$ ,  $E_z$  и  $E_{z\gamma}$ , полученные с помощью реализованной для ПЭВМ модели (табл. 2) отметим, что значения срединных ошибок  $E_x$  и  $E_z$  примерно соответствуют значениям срединных ошибок определения исходных данных методом переноса огня на топографической основе.

Таким образом, точность измерения данных о положении ствола орудия в пространстве с помощью существующих GPS-приемников и точность вычисления координат центра рассеивания снарядов с использованием данных о состоянии атмосферы и состоянии канала ствола орудия, получаемых с помощью штатных средств, позволяют создать учебно-тренировочный комплекс на базе штатного вооружения общевойсковых подразделений для проведения двухсторонних тактических учений.

Таблица 1

## Срединные ошибки определения исходных данных стрельбы

Способ расчета исходных данных	Срединные ошибки	
	$E_{x\text{ пр.}}$ , в % $D$	$E_{z\text{ пр.}}$ , в дел. угл.
Полная подготовка	около 1	4 – 5
По данным пристрелочного орудия	около 1	5 – 6
Перенос огня от репера		
на топографической основе	0,6 – 0,8	2 – 5
без топографической основы	2 – 5	10 – 15
Сокращенная подготовка	3 – 5	15 – 20
Глазомерная подготовка	8 – 10	30 – 40

Таблица 2

## Срединные ошибки вычисления координат центра рассеивания снарядов по данным о положении ствола орудия в пространстве

$D_{стр.}$ , м	Вычисленные срединные отклонения				$E_{x\text{ пр.}}$ , м	$E_{z\text{ пр.}}$ , м
	$E_{x\phi}$ , м	$E_{x_s}$ , м	$E_{z\gamma}$ , м	$E_{z_s}$ , м		
1000	1,72	6,06	1,21	1,23	8	2,09
2000	1,43	11,45	2,43	2,50	16	4,18
3000	1,20	17,41	3,65	3,78	24	6,27
4000	0,98	24,10	4,89	5,03	32	8,36
5000	0,87	32,20	6,14	6,30	40	10,45
6000	0,72	41,80	7,44	7,61	48	12,54
7000	0,70	50,92	8,80	9,02	56	14,63
8000	0,63	61,06	10,24	10,47	64	16,72
9000	0,57	71,74	11,82	12,06	72	18,81
10000	0,46	82,69	13,65	13,90	80	20,90
11000	0,31	93,89	16,04	16,32	88	22,99

## ЛИТЕРАТУРА

1. Извеков Е.В., Каплунов Б.А. Оптимизация средств обеспечения стрельбы артиллерии. – М.: Воениздат, 1979. – 112 с.
2. Блинов Г.И. Теория стрельбы наземной артиллерии. ч. 1 – Л.: Военная артиллерийская командная академия, 1956. – 174 с.

Поступила 31.10.2002

**ФЕДЧЕНКО Владимир Валентинович**, канд. воен. наук, ст. научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1980 году окончил Новочеркасское высшее военное командное училище связи. Область научных интересов – автоматизация информационного обеспечения систем управления.

**ВОТЯКОВ Олег Иванович**, адъюнкт ХВУ. Окончил ХВВКИУ РВ в 1986 году. Область научных интересов – системы спутниковой навигации и геодезии.