

Оперативная оценка ошибок попадания в цель свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов малого класса

Ананьев А.В.^{1*}, Рыбалко А.Г.^{1}, Гончаренко В.И.^{2***}, Клевцов Р.П.^{1****}**

¹*ВУНЦ ВВС Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина,
ул. Старых Большевиков, 54 А, Воронеж, 394064, Россия*

²*Московский авиационный институт (национальный исследовательский
университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

**e-mail: sasha303_75@mail.ru*

***e-mail: rybalkovvs@yandex.ru*

****e-mail: fvo@mai.ru*

*****e-mail: ronin0877@mail.ru*

Статья поступила 20.06.2019

Аннотация

В работе предложен новый подход к решению задачи оперативного определения в полевых условиях систематической ошибки сброса свободнопадающих неуправляемых контейнеров перспективными ударными беспилотными летательными аппаратами малого класса. Разработаны способы оценки параметров отклонений точек падения свободнопадающих неуправляемых контейнеров на основе модификации способа обмера и способа засечек. Разработанные способы отличаются от известных повышенной точностью, оперативностью и экономичностью.

Ключевые слова: ударный беспилотный летательный аппарат, макет боеприпаса, способ измерения отклонения, координаты точки падения.

Введение

Применение разведывательно-ударных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) малого класса (МК) различного радиуса действия в скором времени станет эффективным средством обеспечения действий разнородных группировок войск (сил) [1]. Преимущества БПЛА МК в ударном варианте обусловлены дешевизной изготовления и эксплуатации, малой уязвимостью к средствам противовоздушной обороны (ПВО) противника, существенной продолжительностью полета (14-16 часов), приемлемой массой полезной нагрузки для доставки средств поражения, а также большой дальностью управления (более 300 км). Проведенные в 2018 году экспериментальные исследования по сбросу габаритно-массовых макетов (ГММ) средств ударных БПЛА МК показали высокую точность попадания как в тактические, так и в бомбардировочные мишени [2].

В ходе эксперимента были оценены ошибки бомбометания макетов свободнопадающих неуправляемых контейнеров (СНК) [3], которые по физической природе аналогичны ошибкам отклонений неуправляемых авиационных средств поражения (НАСП) [4]. Очевидно, что каждому серийному образцу ударного БПЛА МК, присуща своя систематическая ошибка бомбометания [5]. БПЛА МК в отличие от пилотируемых авиационных комплексов имеет свои эксплуатационные особенности, а именно невысокий летный ресурс, что не позволяет определять систематические ошибки в том порядке и последовательности, как это реализовано

в пилотируемой авиации, тем более в полевых (боевых) условиях эксплуатации ударных БПЛА МК [6,7]. Следовательно, возникает необходимость анализа существующих и разработки новых способов оперативной оценки параметров отклонений СНК ударных БПЛА МК в полевых (боевых) условиях с учетом особенностей каждого серийного образца ударного БПЛА МК.

Таким образом, целью статьи является *анализ и разработка способов оперативного определения в полевых (боевых) условиях координат точек падения габаритно-массовых макетов боеприпасов беспилотных летательных аппаратов малого класса.*

Известны следующие способы определения координат точек падения АСП, используемые в пилотируемой авиации на авиационных полигонах [8-10]: автоматизированный способ, способ засечек, способ обмера. Рассмотрим данные способы более подробно.

Автоматизированный способ, заключающийся в использовании телевизионных систем [11], других датчиков информации и электронных вычислительных машин (ЭВМ) для контроля и обработки результатов боевого применения АСП. Ошибка в определении таким способом радиального отклонения не превышает 5 м, а в определении азимута – 2° [12].

Однако он не применим для определения координат точек падения макетов боеприпасов, вследствие того, что при попадании макета боеприпаса в мишень отсутствуют такие физические явления, как факел и облако продуктов взрыва, которые можно зафиксировать [13].

Способ засечек, заключающийся в определении координат точки падения АСП, путем визуальной фиксации момента подрыва АСП по вспышке, облаку продуктов взрыва, последующего измерения угловых отклонений между исходным направлением и направлением на данное место с трех наблюдательных пунктов в единой системе координат (частный случай триангуляции), фиксировании данных значений углов отклонений на полигонном планшете, определение по пересекающимся линиям пеленга точку падения АСП [14,15]. Азимут и радиальное отклонение места падения АСП относительно мишени определяют по азимутальной и дальномерной сеткам планшета. Систематическая ошибка в определении радиального отклонения не превышает 10 м, а в определении азимута – 3°.

Способ обмера, заключающийся в определении координат точки падения АСП с использованием теодолита (буссоли), мерных лент и дальномерной рейки [14,16]. Азимут точки падения АСП определяют с помощью теодолита (буссоли), установленного в центре мишени и сориентированного по магнитному меридиану или любому другому направлению, выбранного за начало отсчета.

Радиальное отклонение точки падения АСП (дальность от центра мишени до точки падения АСП) определяют с помощью мерных лент, или с использованием теодолита и дальномерной рейки [17]. При этом с помощью мерных лент измеряется расстояние от центра мишени до точки падения АСП. При использовании теодолита и дальномерной рейки, установленной в месте падения АСП, радиальное отклонение определяется по угловому размеру линейного объекта (дальномерной рейки) известного размера. Недостатком способа являются большие временные

затраты (порядка 5-10 мин) на ориентацию теодолита относительно выбранного направления отсчета, а также на взаимную ориентацию теодолита и дальномерной рейки для исключения ошибки определения координат точки падения АСП по радиальному отклонению, вследствие неровности подстилающей поверхности.

Для решения задачи оперативного определения систематической ошибки ударных БПЛА МК в полевых (боевых) условиях в работе предлагается два способа определения координат точек падения ГММ СНК, отличающиеся друг от друга методами проведения измерения (прямые и косвенные измерения), характеристиками точности и оперативности (временем необходимым для выполнения измерения), а также порядком и последовательностью выполняемых действий.

Модифицированный способ определения координат точки падения макета боеприпаса на основе инструментального обмера

Данный способ (назовем его способ №1) разработан на основе метода прямых измерений и включает следующие операции:

- в центр мишени устанавливают светодальномерное устройство;
- в точку падения макета боеприпаса устанавливают светоотражатель;
- направляют устройство на светоотражатель;
- измеряют азимут светоотражателя;
- излучают лазерный сигнал в центр светоотражателя;
- принимают отраженный лазерный сигнал;

вычисляют расстояние между светоотражателем и светодальномерным устройством на основе измерения интервала времени между моментом излучения и приемом отраженного лазерного сигнала.

Схема организации измерений с помощью способа № 1 показана на рис. 1, где обозначено: 1 – центр бомбардировочной мишени, 2 – измерительное устройство излучения и приема лазерного сигнала (светодальномерное устройство), 3 – точка падения макета боеприпаса, 4 – макет боеприпаса, 5 – светоотражатель, 6 – направление зондирующего лазерного сигнала, 7 – направление отраженного лазерного сигнала.

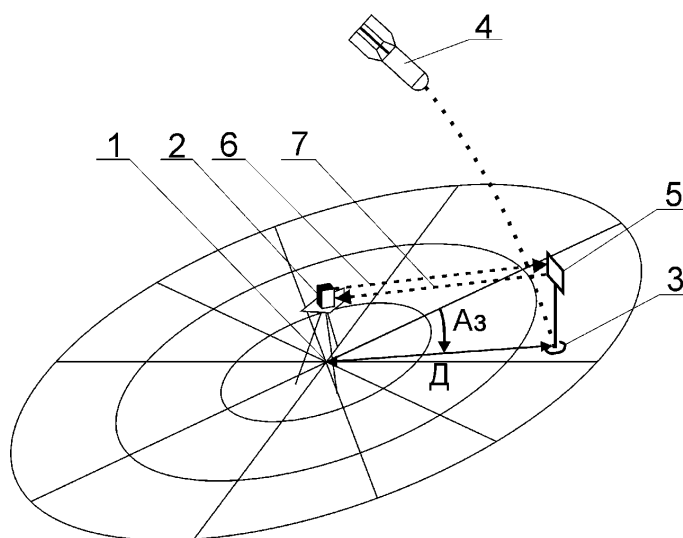


Рис. 1. Схема организации измерений на основе предложенного способа №1

Апробация способа реализована в полевых условиях в процессе проведения заводских испытаний по проверке точности применения и определения параметров рассеивания ГММ СНК с использованием БПЛА МК в ноябре 2018 года. Это позволило провести его интеграцию в способ оперативной оценки параметров отклонений СНК, включающую в себя следующую последовательность действий, показанную на рис. 2 в виде блок-схемы.



Рис. 2. Алгоритм реализации способа оперативной оценки отклонений СНК

На рис. 3 показано определение «нулевого» значения выбранного направления начала отсчета, путем ориентации светодальномерного устройства по контрольному светоотражателю.



Рис. 3. Ориентация светодальномерного устройства

На рис. 4 показан фрагмент процесса измерения координат точки падения ГММ СНК во время проведения заводских испытаний ударных БПЛА МК.



Рис. 4. Иллюстрация измерения координат точки падения ГММ СНК

Использование данного способа для определения координат точек падения ГММ СНК позволило повысить точность проводимых измерений, по сравнению с известным способом обмера. Для определения погрешности измерения координат точек падения макетов боеприпасов предложенным способом и способом обмера, а также сравнение их между собой, использовался разработанный способ оценки точности, основанный на сравнении площадей многоугольника.

Порядок оценки точности определения координат точки падения макетов боеприпасов сравниваемыми способами схематично представлен на рис. 5, где обозначено: 1(О) – центр мишени, место установки измерительного устройства (оптико-электронное – способ обмера, комбинированное светодальномерное –

предложенный способ №1), $2(M)$ – контрольная точка падения макета боеприпаса, A_3 – азимут точки падения макета боеприпаса, R – радиальное отклонение точки падения макета боеприпаса, d_1, d_2 – диагонали ромба $A_1R_2A_2R_1$, S_1 – площадь ромба $A_1R_2A_2R_1$.

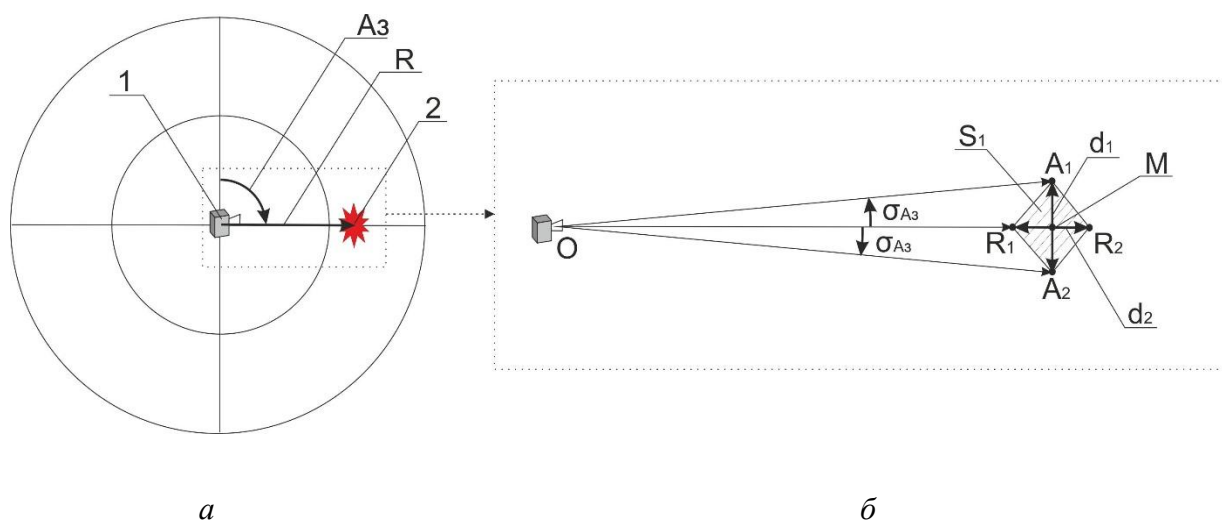


Рис. 5. Способ оценки точности определения координат точки падения макета

боеприпаса: а) общая схема измерения; б) схема построения ромба погрешностей

Особенностью предложенного способа оценки точности определения координат является проведение сравнения площади (S_1) ромба $A_1R_2A_2R_1$. Вершины ромба $A_1R_2A_2R_1$ образованы:

- отрезками OA_1, OA_2 – линиями пеленга точки падения макета боеприпаса с учетом погрешности измерения азимута измерительным устройством:

а) оптико-электронным измерительным устройством со средней квадратической ошибкой измерения $\sigma_{A_3}=30'$ ($0,5^\circ$) (способ обмера) [18];

б) комбинированным светодальномерным измерительным устройством [14] со средней квадратической ошибкой измерения $\sigma_{A_3}=30'$ ($0,5^\circ$) по азимуту, и $\sigma_R=0,002$ м по дальности (предложенный способ №1);

- отрезками OR_1 , OR_2 – линиями дальности до точки падения макета боеприпаса с учетом погрешности измерения радиального отклонения измерительными устройствами: мерная лента $\sigma_R=0,001R_0$, дальномерная рейка $\sigma_R=0,01R_0$, светодальномерное устройство $\sigma_R=0,002$ м [14].

Контрольное значение азимута точки падения выбрано $A_3=90^\circ$, контрольное значение радиального отклонения (R_0) выбиралось в диапазоне от 5 до 50 м, через каждые 5 м.

Площадь S_1 вычисляется по формуле [19]:

$$S_1 = \frac{d_1 d_2}{2}. \quad (1)$$

Диагональ d_1 , вычисляется на основе следующих выражений:

$$d_1 = MA_1 + MA_2, \quad (2)$$

$$MA_1 = MA_2 = OM \operatorname{tg} \sigma_{A_3}; OM = R_0 \quad (3)$$

$$d_1 = 2R_0 \operatorname{tg} \sigma_{A_3}. \quad (4)$$

Диагональ d_2 , вычисляется по формулам:

$$d_2 = R_2 - R_1, \quad (5)$$

$$R_2 = R_0 + \sigma_R, R_1 = R_0 - \sigma_R, \quad (6)$$

$$d_2 = 2\sigma_R. \quad (7)$$

Результаты оценки погрешности измерения координат точек падения макетов боеприпасов предложенным способом и способом обмера и сравнении их между собой представлен в табл. 1.

Таблица 1.

Сравнение точности определения координат разными способами

Контрольное значение радиального отклонения (R_0), м			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Способ обмера	Мерные ленты	Погрешность измерения радиального отклонения ($\sigma_R=0,001R_0$), м	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05
		Контрольная площадь S_1 , м ²	0,0004	0,0017	0,0039	0,007	0,0109	0,016	0,021	0,028	0,035	0,044
	Дальномерная рейка	Погрешность измерения радиального отклонения ($\sigma_R=0,01R_0$), м	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
		Контрольная площадь S_1 , м ²	0,0044	0,0175	0,0393	0,0698	0,1091	0,157	0,214	0,279	0,353	0,436
Предложенный способ №1	Погрешность измерения радиального отклонения ($\sigma_R=0,002$ м), м		0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	Контрольная площадь S_1 , м ²		0,0002	0,0003	0,0005	0,0007	0,0009	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002

На рис. 6 представлена зависимость погрешности измерения радиального отклонения точки падения ГММ сравниваемыми способами от изменения значения измеренного радиального отклонения.

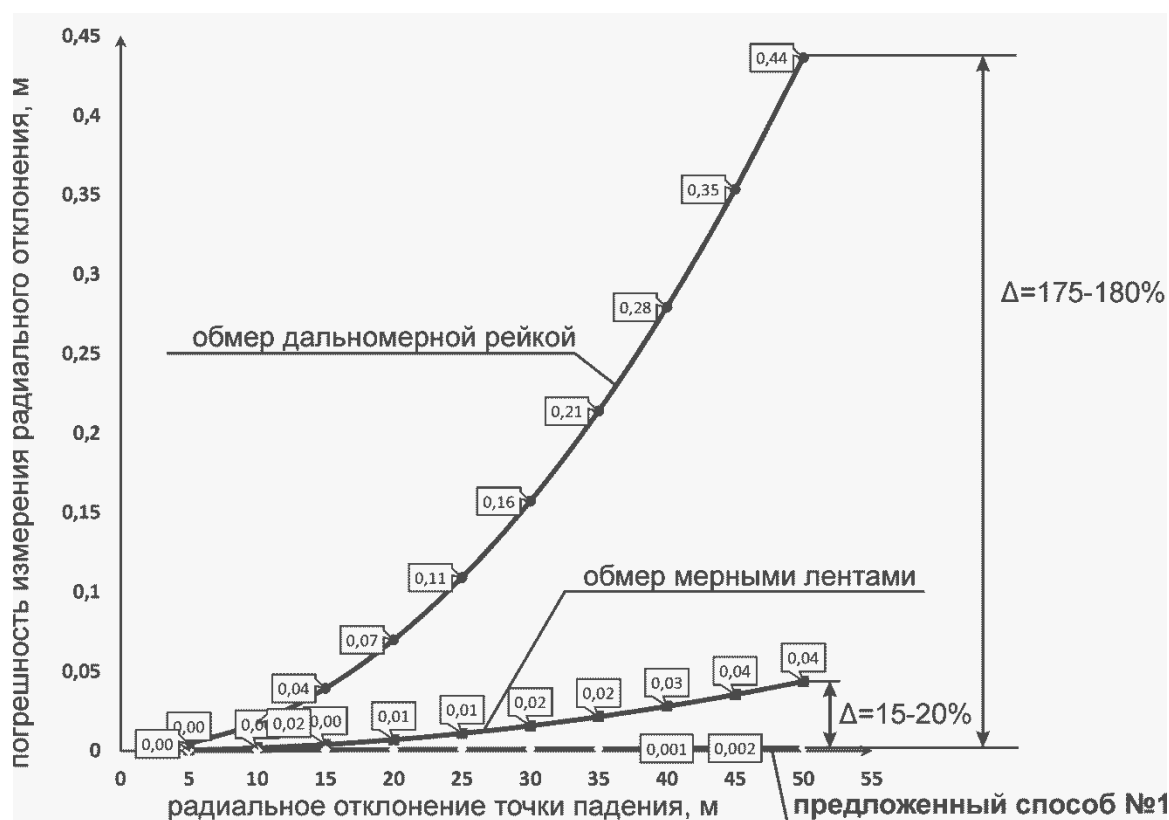


Рис. 6. Зависимости погрешности определения радиального отклонения точки падения ГММ СНК разными способами измерения

Как видно из графика, *модифицированный способ определения координат точки падения макета боеприпаса на основе инструментального обмера*, позволит повысить точность измерения радиального отклонения (R) по сравнению со способом обмера мерной лентой – на 15-20 %, и по сравнению со способом обмера дальномерной рейкой – на 180-200 %. Таким образом, достоинством предложенного способа является повышение точности определения координат точек падения макета боеприпаса примерно в 2 раза, по сравнению с известным способом обмера.

Способ определения координат точки падения макета боеприпаса вынесенным за пределы мишени измерительным устройством

Данный способ (назовем его способ №2) является модификацией известного способа визуальных засечек, используемого на всех авиационных полигонах при определении результатов боевого применения. Предложенный способ основан на методе косвенных измерений, и включает выполнение следующих операций:

в некоторой точке, за пределами мишени, устанавливают одно измерительное устройство и ориентируют его по выбранному направлению начала отсчета;

в центре мишени и в точке падения макета боеприпаса устанавливают светоотражатель и измеряют азимут центра мишени и точки падения макета боеприпаса способом «от нуля» [14];

из измерительного устройства излучают лазерный сигнал в центр светоотражателя;

принимают отраженный лазерный сигнал;

вычисляют расстояние между точкой установки измерительного устройства и центром мишени, между точкой установки измерительного устройства и точкой падения макета боеприпаса, на основе измерения интервала времени между моментом излучения и приемом отраженного лазерного сигнала;

по полученным значениям азимута и дальности до центра мишени и точки падения макета боеприпаса с помощью тригонометрических выражений определяют координаты точки падения макета боеприпаса относительно центра мишени.

Сущность способа поясняется на рис. 7, где соответственно обозначено: 1 – центр бомбардировочной мишени, 2 – светоотражающая поверхность, 3 – точка установки измерительного устройства, 4 – измерительное устройство излучения и приема лазерного сигнала, 5 – выбранное направление начала отсчета координат (направление северного магнитного, истинного или условного меридиана), 6 – направление зондирующего лазерного сигнала, 7 – направление отраженного лазерного сигнала, 8 – макет боеприпаса, 9 – точка падения макета боеприпаса.

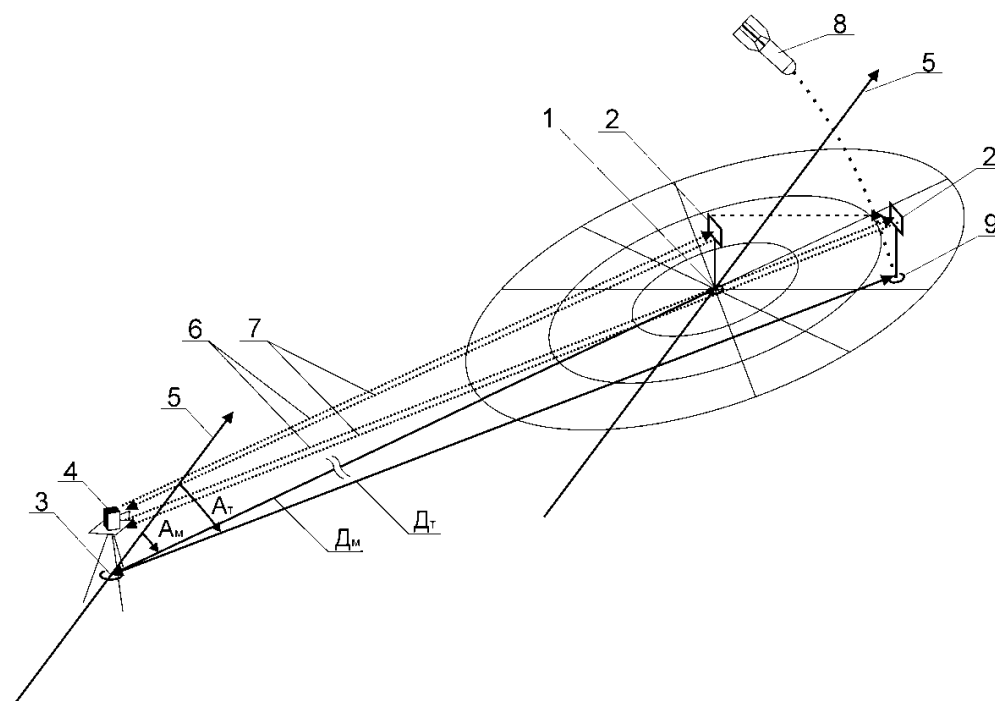


Рис. 7. Схема организации способа с вынесенным измерительным устройством

По полученным значениям азимута и дальности центра мишени (A_m , D_m) и точки падения макета боеприпаса (A_r , D_r) относительно точки установки измерительного устройства, определяют полярные координаты (азимут и радиальное отклонение) точки падения макета боеприпаса (A_z , R) относительно центра бомбардировочной мишени с использованием известных

тригонометрических выражений, приведенных в табл. 2, для решения прямоугольного треугольника [19].

На рис. 8 представлена схема реализации частного случая измерения координат точки падения макета боеприпаса предложенным способом, где соответственно обозначено: 1 – центр бомбардировочной мишени (точка O), 2 – точка установки измерительного устройства (точка A), 3 – точка падения макета боеприпаса (точка B), 4 – выбранное направление начала отсчета координат (направление северного магнитного, истинного или условного меридиана), C – точка на продолжении прямой линии из точки установки измерительного устройства до центра мишени, образованная перпендикуляром опущенным из точки B к данной прямой, A_M – азимут центра мишени, D_M – дальность до центра мишени, A_T – азимут точки падения макета боеприпаса, D_T – дальность до точки падения макета боеприпаса, $УВ$ – угол визирования точки падения макета боеприпаса от направления на центр мишени из точки установки измерительного устройства, α – вспомогательный угол, необходимый для вычисления азимута точки падения макет боеприпаса, A_3 – искомое значение азимута точки падения макета боеприпаса, относительно выбранного направления начала отсчета координат (направление северного магнитного, истинного или условного меридиана) бомбардировочной мишени, R – искомое значение радиального отклонения точки падения макета боеприпаса, относительно центра бомбардировочной мишени.

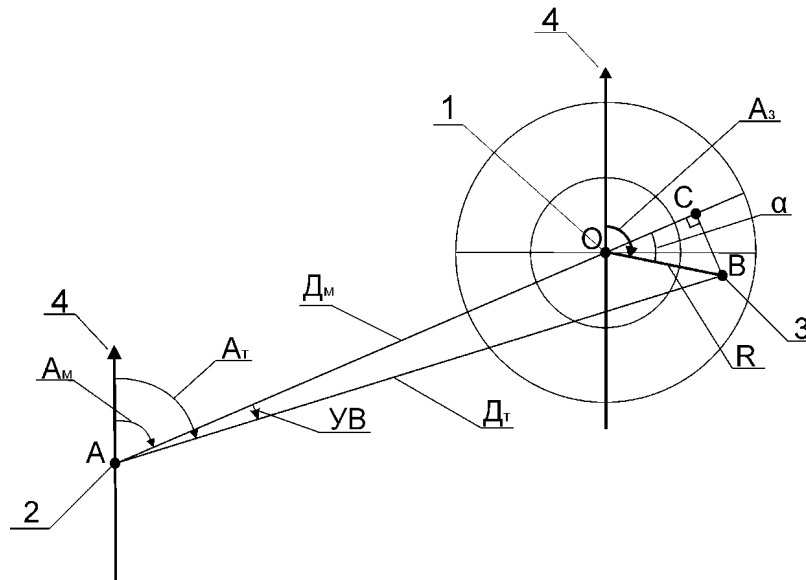


Рис. 8. Схема определения координат точки падения макета боеприпаса предложенным способом № 2 (частный случай)

Таблица 2.

Тригонометрические и аналитические выражения, используемые для определения координат точки падения макетов боеприпасов предложенным способом № 2

Определение из точки установки измерительного устройства местоположения области точки падения макета боеприпаса относительно направления на бомбардировочную мишень	
Слева	Справа
<p>1. $D_T > \frac{D_M}{\cos \gamma B}$, $\gamma B = A_M - A_T$</p> <p>$A_3 = A_M - \arctg \left(\frac{D_T \sin \gamma B}{D_T \cos \gamma B - D_M} \right)$</p> <p>$R = \sqrt{D_T^2 + D_M^2 - 2D_T D_M \cos \gamma B}$</p>	<p>1. $D_T > \frac{D_M}{\cos \gamma B}$, $\gamma B = A_T - A_M$</p> <p>$A_3 = A_M + \arctg \left(\frac{D_T \sin \gamma B}{D_T \cos \gamma B - D_M} \right)$</p> <p>$R = \sqrt{D_T^2 + D_M^2 - 2D_T D_M \cos \gamma B}$</p>
<p>2. $D_T < \frac{D_M}{\cos \gamma B}$, $\gamma B = A_M - A_T$</p> <p>$A_3 = A_M + \arctg \left(\frac{D_T \sin \gamma B}{D_M - D_T \cos \gamma B} \right) + 180^\circ$</p> <p>$R = \sqrt{D_T^2 + D_M^2 - 2D_T D_M \cos \gamma B}$</p>	<p>2. $D_T < \frac{D_M}{\cos \gamma B}$, $\gamma B = A_T - A_M$</p> <p>$A_3 = A_M - \arctg \left(\frac{D_T \sin \gamma B}{D_M - D_T \cos \gamma B} \right) + 180^\circ$</p> <p>$R = \sqrt{D_T^2 + D_M^2 - 2D_T D_M \cos \gamma B}$</p>
<p>3. $D_T = \frac{D_M}{\cos \gamma B}$, $\gamma B = A_M - A_T$</p> <p>$A_3 = A_M + 270^\circ$</p> <p>$R = \sqrt{D_T^2 - D_M^2}$</p>	<p>3. $D_T = \frac{D_M}{\cos \gamma B}$, $\gamma B = A_T - A_M$</p> <p>$A_3 = A_M + 90^\circ$</p> <p>$R = \sqrt{D_T^2 - D_M^2}$</p>
<p>4. $D_T > D_M$, $A_3 = A_M$, $\gamma B = 0$</p> <p>$A_3 = A_M + 180^\circ$</p>	<p>4. $D_T < D_M$, $A_3 = A_M$, $\gamma B = 0$</p> <p>$A_3 = A_M$</p>

Определение из точки установки измерительного устройства местоположения области точки падения макета боеприпаса относительно направления на бомбардировочную мишень	
Слева	Справа
$R = D_M - D_T$	$R = D_T - D_M$

Использование способа № 2 для определения координат точек падения ГММ СНК позволило повысить точность проводимых измерений по сравнению с известным способом визуальных засечек. Проведем оценку точности измерения координат точек падения макетов боеприпасов способом засечек и предложенным способом с помощью следующего примера.

Вследствие того, что измерения координат точки падения макета боеприпаса способом засечек есть частный случай определения координат различных объектов методом триангуляции, то в контрольном примере условимся измерять координаты не точки падения макета боеприпаса, а вычислим среднее квадратическое радиальное отклонение (СКРО) определения местоположения центра мишени (σ_R), что будет являться достаточной оценкой точности [20,21].

Для выполнения оценки точности измерения горизонтальных углов пеленга центра мишени способом засечек используются три оптико-электронных измерительных устройства со средней квадратической ошибкой (СКО) измерения $\sigma_{Az}=30'$ ($0,5^\circ$) [14], установленных в трех точках на эталонном удалении от центра мишени (D) – 100 м. При этом угол установки между двумя смежными устройствами (ω) составляет 90° .

Для выполнения оценки точности измерения горизонтального угла пеленга центра мишени предложенным способом № 2 используется одно комбинированное светодальномерное измерительное устройство [14] с СКО измерения $\sigma_{Az}=30'$ ($0,5^\circ$) по

азимуту и $\sigma_d=0,002$ м по дальности, установленное в рассматриваемом примере на эталонном удалении от центра мишени (D) – 100 м в точке 1.

Порядок оценки точности определения пеленга центра мишени сравниваемыми способами схематично представлен на рис. 9, где обозначено: O – центр мишени, 1,2,3 – места установки измерительных устройств (три оптико-электронных и одно светодальномерное измерительное устройство), D – эталонная дальность установки измерительных устройств, ω – угол установки смежных измерительных устройств для реализации способа засечек, $\pm\sigma_{Az}$ – погрешность измерения углов пеленга измерительными устройствами, σ_R – среднее квадратическое радиальное отклонение определение местоположения центра мишени.

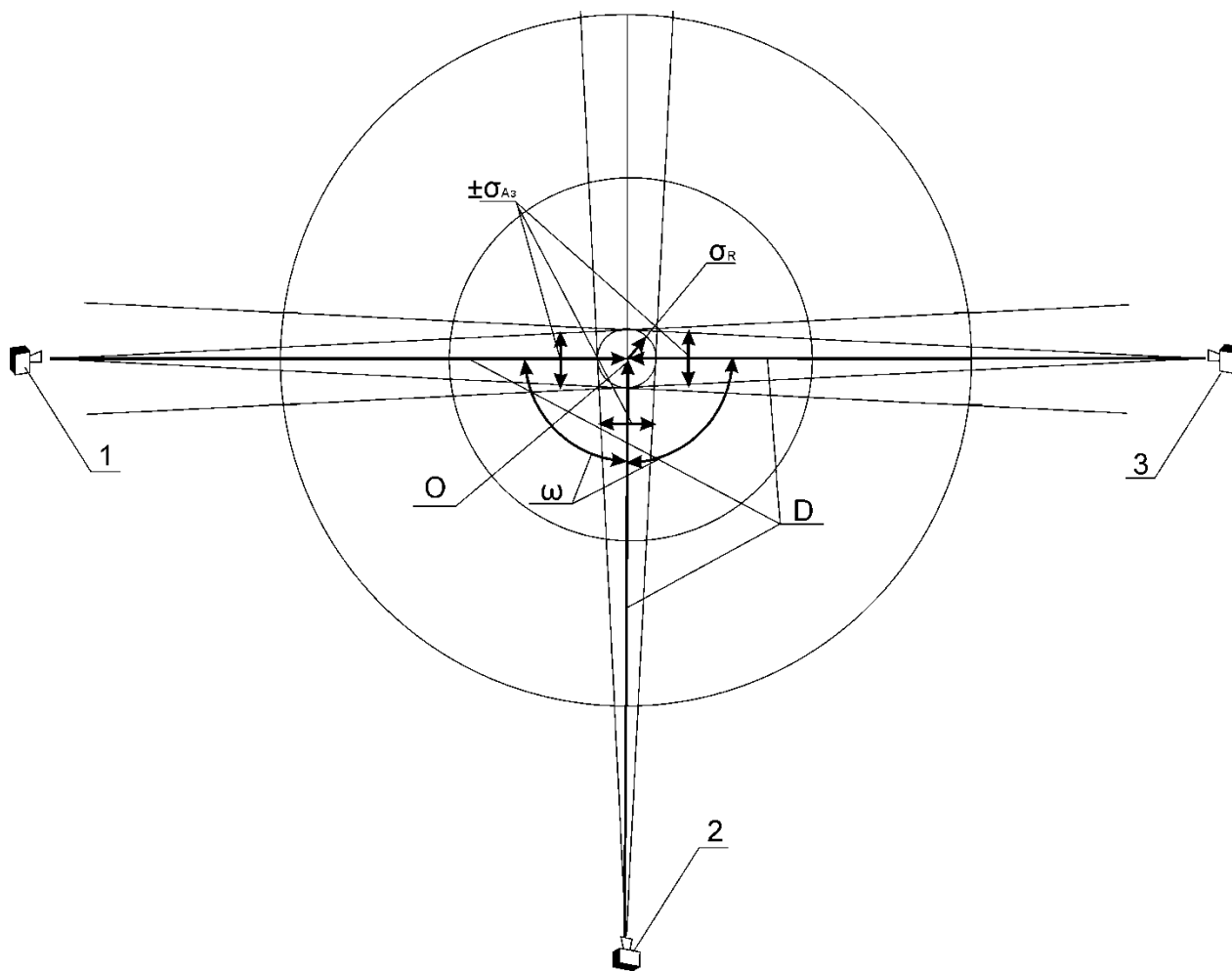


Рис. 9. Схема способа определения СКРО местоположения центра мишени способом засечек и предложенным способом

Сущность способа оценки точности измерения координат объекта заключается в сравнении СКРО местоположения центра мишени определенных способом № 2 засечек и предложенным способом между собой. При этом используется следующий порядок действий.

1. Определим ошибку измерения местоположения центра мишени способом засечек (σ_{R1}). Для этого вычислим линейную ошибку определения местоположения объекта каждым измерительным устройством по формуле [8]:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 0.01745D\sigma_{A_3}. \quad (8)$$

Далее, находим суммарную линейную ошибку определения местоположения объекта двумя смежными измерительными устройствами по формуле [8]:

$$\sigma_{12} = \sigma_{23} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}{\sin \omega} = \frac{\sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_3^2}}{\sin \omega} = \frac{\sqrt{2}\sigma_{1,2,3}}{\sin \omega}. \quad (9)$$

Находим СКРО местоположения центра мишени, определяемое способом засечек по формуле:

$$\sigma_{R1} = \sqrt{\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2} = \sqrt{2}\sigma_{12,23}. \quad (10)$$

2. Определим СКРО местоположения центра мишени (σ_{R2}) предложенным способом. Для этого вычислим линейную ошибку определения направления на центр мишени светодальномерным измерительным устройством по формуле:

$$\sigma_r = 0.01745D\sigma_{A3}. \quad (11)$$

Далее с учетом погрешности измерения дальности светодальномерным устройством определим СКРО координат центра мишени (σ_{R2}) предложенным способом №2 по формуле:

$$\sigma_{R2} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_d^2}. \quad (12)$$

Результаты оценки точности определения местоположения центра мишени способом засечек и предложенным способом № 2 представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Наименование величины	Угол между измерительными устройствами (ω), град										
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
Ошибка определения местоположения центра мишени способом засечек (σ_{R1}), м	6,74	3,49	2,47	2,01	1,81	1,75	1,81	2,01	2,47	3,49	6,74
Ошибка определения местоположения центра мишени способом №2 (σ_{R2}), м	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Повышение точности измерения способом № 2 (Δ), по отношению к способу засечек, n раз	7,7	4,0	2,8	2,3	2,1	2,0	2,1	2,3	2,8	4,0	7,7

На рис. 10 показана зависимость определения предложенным способом № 2 и способом обмера ошибки (СКРО) местоположения центра мишени от изменения значения горизонтального угла между измерительными устройствами. Что является достаточной оценкой точности измерения координат точек падения макета боеприпаса.

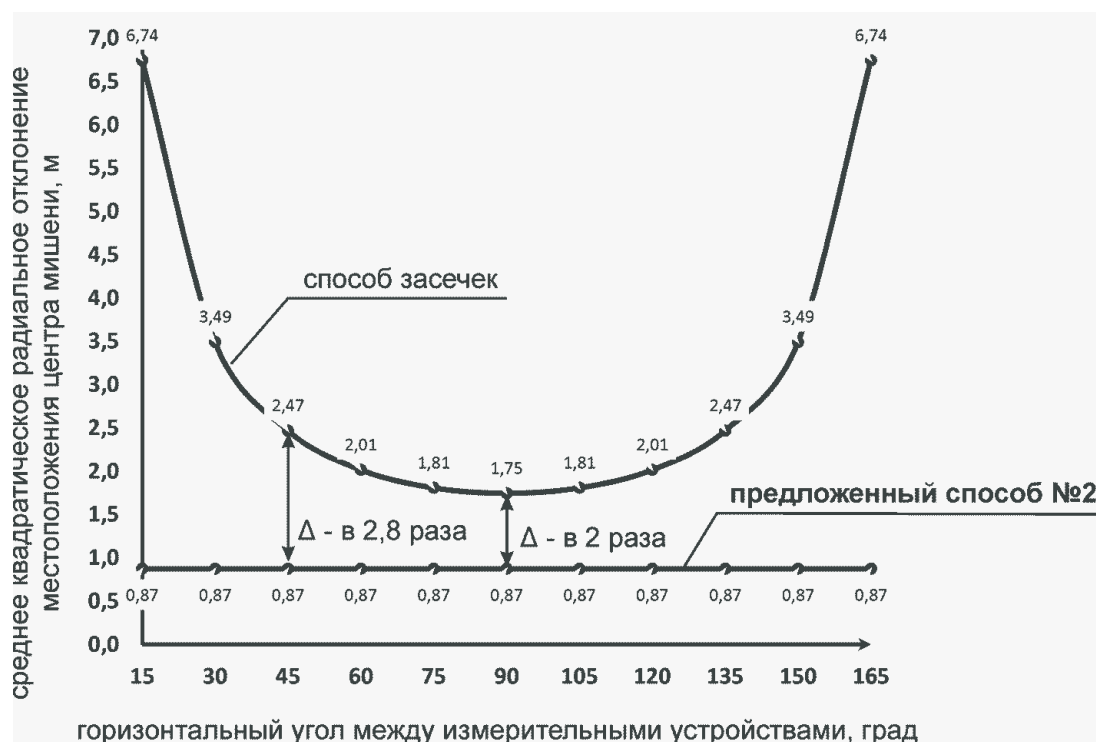


Рис. 10. Оценка точности определения СКРО сравниваемыми способами

Таким образом, достоинством разработанного *способа определения координат точки падения макета боеприпаса вынесенным за пределы мишени измерительным устройством*, является повышение точности измерения координат точки падения макета боеприпаса в 2 и более раз по сравнению с известным способом засечек. При этом погрешность измерения координат данным способом не зависит от угла установки измерительного устройства. Кроме того, использование в процессе проведения измерений одного измерительного устройства вместо трех, как в способе засечек, существенно повышает оперативность проводимых измерений, а также снижает трудозатраты выполняемых работ.

Сравнительный анализ предлагаемых способов определения координат точек падения макетов боеприпасов при сбросе с ударных БПЛА и известных способов при оценке боевого применения пилотируемых авиационных комплексов представлен в табл. 4.

Таблица 4.

Анализ способов определения координат точек падения боеприпасов (макетов боеприпасов)

Способ определения координат	Условия проведения измерений	Используемые измерительные приборы	Точность измерения координат	Оперативность проводимых измерений	Достоинства способа	Недостатки способа
Способ визуальных засечек	Любая мишень (объемная или плоская), реальный боеприпас, хорошая видимость	Буссоль геодезическая	По азимуту – 3°; по радиальному отклонению – 10 м	Время на подготовительные мероприятия - 1,5-2 часа, время получения результата – 20-30 с	Малое время получения результата, применимость в полевых условиях	Низкая точность, влияние метеоусловий, не применим для макетов боеприпасов
Способ обмера	Плоская мишень, реальный боеприпас или макет, любые метеоусловия	Теодолит, мерная лента, дальномерная рейка	По азимуту – 1°; по радиальному отклонению: 0,1% от дальности (мерная лента); 1% (дальномерная рейка)	Трудоемкий процесс измерения с заданной точностью (необходимо 2 мерщика), время на получение результата 5-7 мин	Применимость в полевых условиях, применим для макетов боеприпасов	Низкая оперативность измерений с требуемой точностью
Автоматизированный способ	Специальная мишень, реальный боеприпас или макет, хорошая видимость	Видео- (фото-) контрольные устройства	По азимуту – 2°; по радиальному отклонению – 5 м	Время на подготовительные мероприятия - 10-20 часов, время получения результата – 5-7 с	Высокая точность, автоматизация процесса измерения, получение результата в масштабе времени близкому к реальному	Длительные подготовительные мероприятия, дорогостоящее оборудование, не применим в полевых условиях
Способ № 1	Плоская мишень, реальный боеприпас или макет, любые метеоусловия	Теодолит (буссоль), светодальномер, светоотражатель,	По азимуту – 0,5°; по радиальному отклонению – 2 мм	Время на подготовительные мероприятия – 10-15 мин, время получения результата – 40-60 с	Высокая точность, применимость в полевых условиях	Оперативность подготовительных мероприятий ниже по сравнению со способом № 2
Способ № 2	Любая мишень (объемная или плоская), реальный боеприпас или макет, любые метеоусловия	Теодолит (буссоль), светодальномер, тахеометр, светоотражатель	По азимуту: 0,5° (теодолит); 5'' (тахеометр); по радиальному отклонению – 2 мм	Время на подготовительные мероприятия – 5 мин, время получения результата – 10-15 с	Высокая точность и оперативность, применимость в полевых условиях,	Точность измерения ниже по сравнению со способом №1

Таким образом, проведенный анализ существующих способов определения координат точек падения АСП, которые используются для оперативного измерения отклонений боеприпасов БПЛА МК в полевых (боевых) условиях показал их низкую точность, а в ряде случаев и не применимость при использовании макетов боеприпасов. С учетом особенностей ГММ СНК разработаны два новых оперативных способа определения координат точек падения макетов боеприпасов, обеспечивающих повышение точности проводимых измерений, по сравнению с аналогами в 2 и более раз. Это в свою очередь позволит повысить оперативность определения систематической ошибки перспективных ударных БПЛА МК новых серий в полевых (боевых) условиях для последующего планирования ударных действий групп БПЛА МК при поражении различных наземных целей [22,23].

Библиографический список

1. Новак К.В., Горохова Е.А., Тофоров М.С. Оценка боевых возможностей беспилотных летательных аппаратов гражданского назначения, применяемых в террористических целях // Роботизация Вооруженных Сил Российской Федерации: сборник трудов II Военно-научной конференции. - М.: ГНИИЦРТ, 2017. С. 187 - 195.
2. Ананьев А.В., Филатов С.В., Рыбалко А.Г. Статистическая оценка ударных возможностей беспилотных летательных аппаратов малой дальности при решении задач пилотируемой авиации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 12. С. 455 - 458.
3. Ананьев А.В., Филатов С.В., Петренко С.П., Рыбалко А.Г. Экспериментальная

апробация применения свободнопадающих неуправляемых контейнеров с использованием беспилотных летательных аппаратов ближнего действия // Вестник Московского авиационного института. 2019. № 1. С. 102 - 109.

4. Руководство по боевому применению авиационных средств поражения наземных (морских) объектов. Часть 1. Авиационные неуправляемые средства поражения. - М.: Воениздат, 1984. - 392 с.

5. Монсик В.Б. Статистические основы авиационного вооружения. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003. – 484 с.

6. Николаев С.В., Баранцев С.М., Колодежнов В.Н., Шатовкин Р.Р., Купряшкин И.Ф. Моделирование динамики движения объектов гладкой баллистики при решении задач летных испытаний авиационных комплексов // Труды МАИ. 2018. № 102. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=99217>

7. Шутов П.В., Ефанов В.В. Методика автоматизации процесса испытаний авиационных боеприпасов // Труды МАИ. 2014. № 75. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=49684>

8. Справочник летчика и штурмана / Под общей редакцией В.М. Лавского. – М.: Воениздат, 1974. - 512 с.

9. Козирацкий Ю.Л., Кулешов П.Е., Чернухо И.И. Способ определения координат точки падения боеприпаса. Патент 2516205 РФ. МПК F41J 5/00. Бюлл. № 14, 20.05.2014.

10. Нижнетагильский институт испытания металлов. Деятельность летно-испытательной базы. URL: <http://ntiim.ru/ipress.php?x=lib/deyat/10>

11. Чупахин А.П., Савин М.Л. Особенности построения оптоэлектронных регистрирующих систем для траекторных измерений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 11. Ч. 2. С. 273 - 279.
12. Чупахин А.П., Луцков Ю.И. Погрешности видеоаппаратуры при проведении траекторных измерений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 9. Ч. 1. С. 120 - 126.
13. Серкин Ф.Б., Важенин Н.А., Вейцель А.В. Анализ характеристик прототипа локальной системы местоопределения // Труды МАИ. 2016. № 86. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=67824>
14. Подшивалов В.П., Нестеренок М.С. Инженерная геодезия. - Минск: Высшая школа, 2011. - 464 с.
15. Коклюгин В.В. Программный комплекс подготовки экипажей воздушных судов к полетам «Флагман Авиа». Специализированное программное обеспечение «Планшет полигона» вер. 3.3. URL: <http://koklugin.narod.ru/>
16. Гончаренко В.И., Кан Ю.С., Травин А.А. Математическое и программное обеспечение анализа рассеивания точек падения фрагментов летательных аппаратов // Труды МАИ. 2012. № 61. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35615>
17. Пикалов С.А. Исследование дальномерного способа оперативного определения координат наземной цели на борту авиационных комплексов // Труды МАИ. 2012. № 51. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29148>
18. Кирилловский В.К. Оптические измерения. Часть 1. Введение в общие вопросы. Точность оптических измерений. - Спб.: ГИТМО (ТУ), 2003. - 47 с.

19. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. - М.: Астрель, 2014. - 509 с.
20. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. Пер. с англ. - М.: Мир, 1985. - 272 с.
21. Анненкова И.Ю., Грибанов А.С. Ошибки линий положения для различных методов определения направления на источник излучения // Труды МАИ. 2011. № 42. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=24260>
22. Ананьев А.В., Гончаренко В.И., Лютин В.И. Построение системы автоматического наведения беспилотных летательных аппаратов с применением комплексирования результатов наблюдения цели различными датчиками // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. № 666. С. 47 - 57.
23. Ananiev A.V., Goncharenko V.I. Scenario planning of activities of the group of aeronautical robotic engineering complexes in cooperative environments // 2017 Tenth International Conference «Management of large-scale system development» (MLSD'2017), (Moscow, Russia, 2-4 Oct. 2017). Publisher: IEEE. Date Added to IEEE Xplore: 16 November 2017. DOI: 10.1109/MLSD.2017.8109591. IEEE Xplore Digital Library: URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109591/>.