



УДК 623.5:53.08
ГРНТИ 78.21.53

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК ПАДЕНИЯ ГАБАРИТНО-МАССОВЫХ МАКЕТОВ СВОБОДНОПАДАЮЩИХ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ КОНТЕЙНЕРОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МАЛОГО КЛАССА В УСЛОВИЯХ МАЛОЙ ВЫБОРКИ

А.В. АНАНЬЕВ, доктор технических наук

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

А.Г. РЫБАЛКО

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Е.М. ВОЛОТОВ, кандидат технических наук, доцент

*Филиал «Взлет» ФГОУВО «Московский авиационный институт (национальный университет)»
(г. Ахтубинск)*

В статье представлена методика оценки эффективности способов определения координат точек падения габаритно-массовых макетов свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов малого класса при организации выборки статистических данных рассеивания авиационных средств поражения малого объема в условиях сокращения времени проведения летных испытаний, предшествующих вводу авиационной техники в эксплуатацию. Появление новых средств вооружения – ударных беспилотных летательных аппаратов малого класса и свободнопадающих неуправляемых контейнеров, которые обладают характерными отличиями от традиционных авиационных средств поражения, в том числе предельно малой массой, габаритами и малым могуществом потребовало разработки новых способов определения результатов бомбометания с уменьшенным циклом проведения полигонных испытаний. Предлагаемая методика позволяет сравнить существующие и вновь разработанные способы определения координат точек падения макетов средств поражений по критерию влияния малой выборки статистических данных рассеивания на требуемое количество свободнопадающих неуправляемых контейнеров и беспилотных летательных аппаратов, определяемых при планировании их применения для поражения наземных объектов.

Ключевые слова: точностные характеристики авиационных комплексов, беспилотный летательный аппарат малого класса, свободнопадающий неуправляемый контейнер, полигонные испытания, методы математической статистики, выборка малого объема, рассеивание средств поражения, способы определения координат точек падения авиационных средств поражения.

THE EFFECTIVENESS EVALUATION OF METHODS FOR DETERMINING THE DROP POINTS COORDINATES OF DIMENSIONAL AND MASS LAYOUTS OF SMALL-CLASS UNMANNED AERIAL VEHICLES FREE-FALLING UNGUIDED CONTAINERS IN SMALL SAMPLE CONDITIONS

A.V. ANANIEV, Doctor of Technical sciences

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

A.G. RYBALKO

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

E.M. VOLOTOV, Candidate of Technical sciences, Associate Professor

«Vzlet» branch of the Moscow Aviation Institute (National University) (Akhtubinsk)



The article presents a method for evaluating the effectiveness of methods for determining the coordinates of the drop points of dimensional and mass layouts of free-falling unguided containers of small-class unmanned aerial vehicles when organizing a sample of statistical data on the dispersion of small-volume aircraft weapons in conditions of reducing the time of flight tests preceding the commissioning of aviation equipment. The emergence of new weapons – small-class attack unmanned aerial vehicles and free-falling unguided containers, which have characteristic differences from traditional aviation weapons, including extremely low mass, dimensions and low power, required the development of new methods for determining the results of bombing with a reduced cycle of conducting field tests. The proposed method allows to compare existing and newly developed methods for determining the coordinates of the incidence points of models of destruction means by the criterion of the influence of a small sample of statistical data of dispersion on the required number of free-falling unguided containers and unmanned aerial vehicles determined when planning their use for hitting ground objects.

Keywords: precision characteristics of aircraft systems, small-class unmanned aerial vehicle, free-falling unguided container, polygon tests, methods of mathematical statistics, small-volume sampling, dispersion of weapons, methods for determining the coordinates of the points of aircraft weapons impact.

Введение. Определение числовых характеристик рассеивания авиационных средств поражения (АСП), полученных методами математической статистики, а именно математического ожидания (МО) координат центра рассеивания, которое характеризует точность боевого применения АСП и среднеквадратического отклонения (СКО) среднего промаха или разброса АСП, характеризующего кучность попадания АСП по цели, всегда является важной задачей в процессе летных испытаний авиационной техники (АТ), решаемой на протяжении всего жизненного цикла изделия [1]. В пилотируемой авиации вопросами оценки точностных характеристик авиационных комплексов (АК) занимается ряд организаций, результат деятельности которых цикличен и включает следующие этапы: «учет результатов боевого применения АСП – обработка статистических данных и вычисление параметров рассеивания АСП (МО и СКО) – разработка рекомендаций в руководящие документы – уточнение точностных характеристик АК в виде количественного показателя оценки экипажа при полетах на боевое применение».

Так, задачу сбора, накопления и учета результатов применения АСП решает штурманская служба авиационных частей по итогам выполнения экипажами пилотируемой авиации учебно-тренировочных полетов на боевое применение [2]. Обработкой статистических данных и вычислением СКО занимается ряд научных организаций МО РФ. Разработка рекомендаций в руководящие документы по результатам оценки точностных характеристик АК является задачей исследовательских и испытательных центров МО РФ. На завершающем этапе издается курс боевой подготовки, утверждаемый главнокомандующим ВКС, в котором точностные характеристики АК отражены в виде количественной оценки боевого применения того или иного вида, с использованием различных типов прицельных систем.

Точностные характеристики АК необходимо знать, как для оценки уровня подготовки экипажей, так и для учета СКО рассеивания АСП, которое используется при определении потребных нарядов АСП и АК для поражения наземных объектов на этапе планирования применения авиации. В свою очередь, численное значение МО рассеивания АСП, в виде поправочных коэффициентов, вводимых в математический аппарат вычислителя прицельно-навигационной системы (ПНС) [3] во время предполетной подготовки АК на земле, используется для вычисления положения точки прицеливания на этапе прицеливания по наземной цели в полете. При этом очевидно, что значение потребного наряда АСП и АК должно быть достоверным и обеспечивать поражение наземной цели с заданной вероятностью, а положение точки прицеливания максимально исключать возможность промаха. Поэтому циклы определения точностных характеристик АК повторяются в течение длительного времени, так как сбор и учет статистических данных, полученных от результатов боевого



применения на протяжении нескольких лет, позволяет определять МО и СКО рассеивания АСП с наименьшими погрешностями.

Актуальность. Цикл оценки точностных параметров, характерный для пилотируемых АК в перспективе, будет аналогичен для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в том числе малого класса (МК) типа «Феникс» [4]. Однако особенности его реализации для БПЛА МК будут сопровождаться рядом ограничений, самым главным из которых является существенное сокращение времени на проведение испытаний. Это объясняется следующими факторами:

во-первых, в отличие от пилотируемых АК, время жизненного цикла ударного БПЛА МК в условиях мирного и военного времени будет существенно меньше [5];

во-вторых, количество ударных БПЛА МК, производимых разными предприятиями-изготовителями и в перспективе поставляемых в формирования беспилотной авиации [6], по сравнению с пилотируемыми АК, будет гораздо больше;

в-третьих, разнообразие серий производимых ударных БПЛА МК потребует уточнения точностных характеристик БПЛА МК каждой партии с использованием средств автоматизации данного процесса [7];

в-четвертых, точностные характеристики БПЛА МК каждой серии и параметры рассеивания его средств поражения, а именно свободнопадающих неуправляемых контейнеров (СНК), могут быть получены только по результатам малой выборки статистических данных результатов сброса СНК. Это объясняется тем, что в боевых условиях оценка точности сброса СНК с БПЛА МК будет проводиться в сжатые сроки, предположительно в течение одного-двух дней полевых испытаний.

Подтверждением приведенных выше рассуждений служат результаты практических исследований, полученные в ходе военно-технического эксперимента (ВТЭ) [8–10]. Так, для определения координат точек падения габаритно-массовых макетов (ГММ) СНК ударного БПЛА МК из известных способов измерений [11], представленных в таблице 1, был выбран способ обмера мерными лентами (рейками). Это обусловлено, во-первых, минимальным временем подготовки и проведения измерений при достаточной точности получаемого результата. Во-вторых, характером тактической мишени, использовавшейся в эксперименте. В-третьих, особенностями ГММ СНК (малый размер, отсутствие при падении на землю световых и звуковых излучений, сейсмических колебаний и дымовых следов). В-четвертых, невозможностью использования других способов измерения в условиях высокой интенсивности сброса АСП, которая, по опыту проведения экспериментальных исследований и порядку применения пилотируемой авиации на авиационных полигонах, принимает значения, указанные в таблице 1. Такая интенсивность достигается вследствие того, что инструкцией по производству полетов на авиационном полигоне минимальный временной интервал между сбросами АСП одиночными летательными аппаратами устанавливается, как правило, не менее 3 минут.

Таблица 1 – Существующие способы измерения координат точек падения авиационных средств поражения

Способ измерения координат точек падения АСП	Условия измерений и средняя интенсивность сброса (сбр) АСП	Используемые измерительные приборы	Точность определения азимута (Az) и радиального отклонения (R) точки падения АСП	Среднее время подготовки и проведения полигонных измерений (часы, минуты, секунды)
Способ визуальных засечек	полигон, боевое АСП, интенсивность до 20 сбр/час	буссоль геодезическая	по Az – 3° по R – 10 м	подготовка – 2 ч проведение – 20 с
Способ обмера	полигон, боевое АСП или ГММ, интенсивность до 4 сбр/час	теодолит, мерная лента, дальномерная рейка	по Az – 1° по R – 0,1 %R (лента) по R – 1 %R (рейка)	подготовка – 20 мин проведение – 5 мин
Автоматизир. способ	полигон, боевое АСП, интенсивность до 20 сбр/ч	видео- (фото-) контрольные изм. устройства	по Az – 2° по R – 5 м	подготовка – 20 ч проведение – 5 с



На рисунке 1 показана практическая реализация измерений координат точек падения ГММ СНК способом обмера мерными лентами.

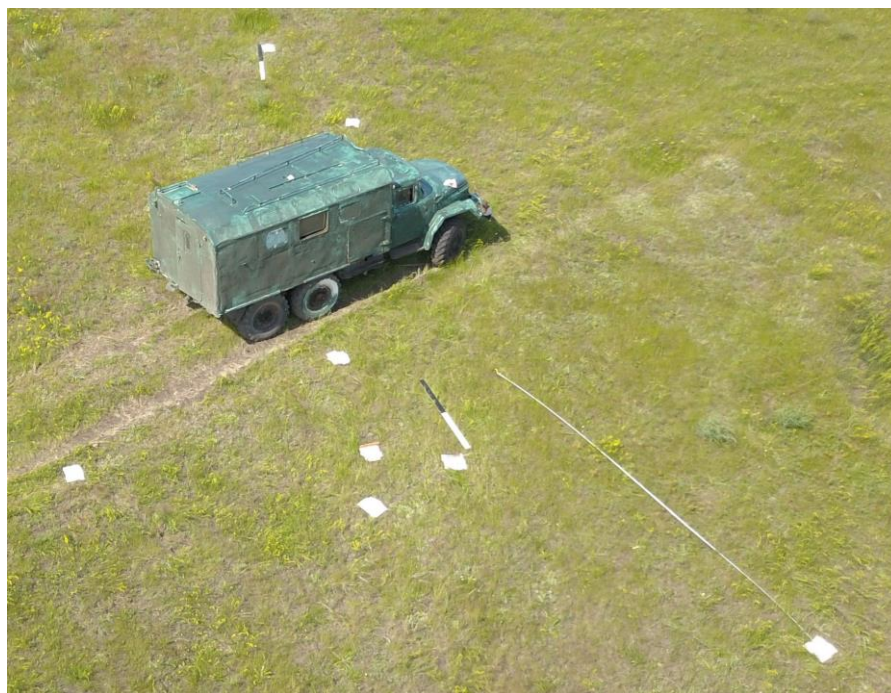


Рисунок 1 – Определение координат точек падения ГММ СНК способом обмера

В ходе ВТЭ было выявлено, что порядок проведения летных испытаний и особенности работы бортового оборудования ударного БпЛА МК накладывают существенные ограничения на организацию выбранным способом полигонного обмера выборки статистических данных рассеивания ГММ СНК малого объема.

Во-первых, временной интервал между сбросами не обеспечивал выполнения испытаний по условиям безопасности, а именно отсутствовала возможность установки измерительного устройства в центр мишени и определения азимута точки падения. Поэтому, измерение координат точек падения ГММ СНК способом обмера мерными лентами проводилось после сброса всех подвесок и посадки БпЛА МК.

Во-вторых, случайные ветровые возмущения на высоте полета БпЛА МК оказывали влияние на выдерживание им заданного боевого курса и выполнение сброса ГММ СНК с первого захода (невыход БпЛА МК в заданную точку сброса), что приводило к увеличению времени проведения испытаний. По этой причине, в ходе обоих летных дней был задействован только один ударный БпЛА МК, а количество проведенных обмеров было недостаточным для полноценной статистической обработки и позволило лишь грубо оценить параметры рассеивания.

В таблице 2 представлены численные значения МО, СКО ГММ СНК, полученные в результате обработки статистических данных, собранных в условиях проводимого ВТЭ.

По итогам двух дней летных испытаний было выполнено 6 полетов ударным БпЛА МК, сброшено 23 ГММ СНК. Продолжительность полетов БпЛА МК составляла от 1 до 1,5 часов, а время, затрачиваемое на последующее измерение отклонений точек падения ГММ СНК – 30 мин. Подготовка ударного БпЛА МК к повторному вылету занимала в среднем 1 час. Количество сбросов, вошедших в выборку статистических данных рассеивания ГММ СНК, составило за первый летный день – 10, за второй летный день – 11, по причине аномального падения СНК (отклонение ГММ СНК от центра мишени более 20 м) и отказа системы сброса. Поэтому была проведена лишь приближенная оценка параметров рассеивания ГММ СНК.



Таблица 2 – Результаты проведения летных экспериментов

Характеристика	Эксперимент № 1	Эксперимент № 2
Тип и количество БпЛА	1хБпЛА МК	1хБпЛА МК
Высота сброса ГММ СНК, м	300	300
Скорость сброса ГММ СНК, км/ч	80-100	80-100
Количество сбросов ГММ СНК	12	11
Объем выборки	10	11
Метеоусловия	облачность 2-3 балла, высота нижней границы облачности 1500 м, температура воздуха 24 °С, ветер у земли: направление 60-80°, скорость 5-7 м/с, опасных явлений погоды нет	облачность 4-6 балла, высота нижней границы облачности 1000 м, температура воздуха 22 °С, ветер у земли: направление 40-60°, скорость 2-3 м/с, опасных явлений погоды нет
МО по дальности (m_x), м	-5,38	-1,27
МО по направлению (m_z), м	0,24	0,8
СКО по дальности (σ_x), м	7,13	6,29
СКО по направлению (σ_z), м	4,92	3,19

Однако пренебрегать полученными результатами ВТЭ нельзя. Их надо правильно трактовать. Так, с одной стороны, была практически доказана возможность высокоточного применения БпЛА МК в интересах авиации оперативно-тактического назначения, так как в одном из эпизодов эксперимента была реализована передача на борт БпЛА МК команд управления по сбросу СНК с наземной станции управления, находящейся на удалении 317 км от мишенного поля [10]. С другой стороны, количество сбросов недостаточно, по этой причине полученные численные значения параметров рассеивания в условиях проводимых экспериментов являются предварительными оценками МО и СКО ГММ СНК.

Таким образом, использование существующих способов полигонного обмера не обеспечило выполнение необходимого количества сбросов ударным БпЛА МК макетов средств поражений, которое будет достаточным для определения достоверных параметров рассеивания ГММ СНК в условиях выборки статистических данных малого объема. Это является практической иллюстрацией противоречия: с одной стороны, необходимо получение достоверных данных о точностных характеристиках сброса СНК с БпЛА МК в рамках рассматриваемого цикла при ограничении по времени проводимых летных испытаний, с другой стороны – априори малого объема выборки статистических данных по рассеиванию СНК.

Для разрешения данного противоречия был разработан новый способ определения координат точек падения макетов боеприпасов лазерным измерительным устройством [12], позволяющий в условиях ограниченного времени проведения летных испытаний собрать достаточное количество статистических данных по рассеиванию СНК. Данный способ был апробирован на практике в ходе заводских испытаний ударных БпЛА МК.

Отличительной особенностью разработанного способа от существующих способов полигонного обмера является использование, вынесенного за пределы мишенного поля, лазерного измерительного устройства, повышающего точность проводимых измерений [13]. Это способствовало устранению ограничения, накладываемого на процесс обмера по условиям безопасного проведения испытаний. Это, в свою очередь, позволило задействовать для сброса ГММ СНК второй ударный БпЛА МК и тем самым увеличить минимальный объем выборки статистических данных рассеивания макетов средств поражения. Используемый инструментальный новый способ измерения координат точек падения ГММ СНК на мишенном поле представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Определение координат точек падения ГММ СНК новым способом

По итогам двух дней летных испытаний было выполнено 12 полетов ударными БпЛА МК, сброшено 47 ГММ СНК. Полеты были организованы таким образом, чтобы в воздухе постоянно находился один БпЛА МК и выполнял сброс ГММ СНК, второй в это время подготавливали к повторному вылету. Продолжительность полетов БпЛА МК составляла от 1 до 1,5 часов. В результате этого, измерение отклонений точек падения ГММ СНК проводилось непосредственно сразу же после сброса, так как отсутствовала необходимость постоянного ориентирования лазерного измерительного устройства относительно центра мишени. Фиксировалась только точка падения ГММ СНК с помощью светоотражателя. Количество сбросов, используемых для организации выборки статистических данных рассеивания ГММ СНК, составило: за первый летный день – 23, за второй летный день – 21, по причине аномального падения СНК (отклонение ГММ СНК от центра мишени более 15 м), самопроизвольного сброса одного ГММ СНК, а также не схода с БпЛА МК одной нагрузки из-за отказа подвесного устройства.

Содержание и условия проведенных натурных испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание и условия проведения натурных испытаний

Характеристика	Эксперимент № 1	Эксперимент № 2
Тип и количество БпЛА	2хБпЛА МК	2хБпЛА МК
Высота сброса ГММ СНК, м	300	300
Скорость сброса ГММ СНК, км/ч	80-100	80-100
Количество сбросов ГММ СНК	24	23
Объем выборки	23	21
Метеоусловия	облачность 8-9 баллов, высота нижней границы облаков 300 м, температура –4 °С, влажность 71 %, давление 760 мм.рт.ст., ветер у земли: направление 340-360°, скорость 2-3 м/с, опасных явлений погоды нет	облачность 10 баллов, высота нижней границы облаков 1500 м, температура –2 °С, влажность 45 %, давление 770 мм.рт.ст., ветер у земли: направление 230-250°, скорость 6-8 м/с, опасных явлений погоды нет



Эмпирические данные рассеивания ГММ СНК были собраны и предварительно обработаны с использованием специального программного обеспечения (СПО) «Система поддержки принятия решения ударных беспилотных летательных аппаратов «Пересвет» [14]. Дальнейший анализ эмпирических данных проводился с помощью статистического пакета прикладных программ STATGRAPHICS [15], что позволило, во-первых, подтвердить гипотезу о соответствии эмпирического (выборочного) закона распределения координат точек падения ГММ СНК на поверхности мишени нормальному закону, во-вторых – получить статистические оценки параметров рассеивания ГММ СНК. Результаты полученных оценок представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Оценки параметров рассеивания ГММ СНК, полученные в экспериментах

Номер эксперимента	Объем выборки	Оцениваемые параметры рассеивания ГММ СНК			
		Математическое ожидание, м		Среднеквадратическое отклонение, м	
		по дальности (ось OX)	по направлению (ось OZ)	по дальности (ось OX)	по направлению (ось OZ)
Численные значения оценок, полученные в эксперименте № 1	23	-1,16	-3,06	5,21	1,93
Численные значения оценок, полученные в эксперименте № 2	21	-6,8	1,84	6,53	4,41

Сравнение данных таблицы 2 и 4 показывает, что разработанный новый способ измерения координат точек падения ГММ СНК в ограниченных по времени проводимых полигонных испытаниях позволил увеличить объем выборки статистических данных рассеивания ГММ СНК с 10–11 до 21–23 значений (увеличение в два раза) по сравнению с известными способами полигонного обмера. Однако данный объем остается достаточно малым, поэтому для оценки достоверности определения параметров рассеивания СНК необходимо проанализировать существующие подходы, используемые в математической статистике при выборках малого объема.

Аналізу статистических данных в условиях наличия малой выборки испытаний посвящены работы связанные с распознаванием объектов, с системами управления, с исследованиями в области психологии, педагогики и экологии, с проектированием робототехнических комплексов, с системами контроля и диагностики, с маркетинговыми исследованиями и прогнозированием в экономике.

Все работы можно условно разделить на области параметрического [16–24] и непараметрического анализа [25–29] статистических данных. В целом работы направлены на повышение качества статистического анализа путем моделирования [18, 19, 26, 29–31], введения допущений, оценки качества и репрезентативности выборки и т.д. Однако, встречаются работы, посвященные оценке качества исследуемых на практике способов деятельности, например, сварочных работ [32], в которой производится вероятностная оценка эффективности альтернативных вариантов сварки по наблюдениям малых размерностей. Тем не менее, несмотря на широкий спектр работ, обратная задача: оценки эффективности способов накопления статистических результатов, в части касающейся испытаний авиационных комплексов – отсутствует.

В связи с этим, **целью работы** является разработка методики оценки эффективности способов определения координат точек падения ГММ СНК ударных БпЛА МК в условиях малой выборки статистических данных.

Сущность методики заключается в оценке точности вычисления дисперсии (СКО) рассеивания ГММ СНК ударных БпЛА МК по выборкам малого объема, организованным с использованием разработанного способа определения координат точек падения макетов средств



поражения БпЛА МК. Обоснование эффективности способов достигается путем определения зависимости потребного количества СНК и БпЛА МК, рассчитанных по параметрам рассеивания макетов средств поражения БпЛА МК, от количества проведенных испытаний.

Рассмотрим задачу объективной оценки эффективности способов определения координат точек падения боеприпасов на основе сокращения временного цикла полигонных измерений при условии сохранения точности измерений и ограниченном периоде летных испытаний.

Из таблиц 2 и 4 следует, что в результате одного летного дня существующим способом полигонного обмера (способ № 1) можно сформировать выборку статистических данных рассеивания ГММ СНК, включающую не менее 10 измерений координат точек падения ГММ СНК, а с использованием разработанного способа (способ № 2) – выборку малого объема, содержащую не менее 20 измерений. Примем размеры этих выборок как эталонный объем статистических данных, собранных за один день летных испытаний с использованием разных способов измерения. Предположим, что испытания проводились в течение 7 дней, тогда суммарное количество сбросов по дням будет соответствовать значениям, представленным в таблице 5.

Таблица 5 – Объемы выборки рассеивания ГММ СНК, сформированные разными способами

Дни испытаний	1 день		2 дня		3 дня		4 дня		5 дней		6 дней		7 дней	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Объем выборки (<i>n</i>)	10	20	20	40	30	60	40	80	50	100	60	120	70	140

Основным статистическим параметром точности измерения координат точек падения боеприпасов является дисперсия (*d*) или СКО (σ) по дальности (по оси OX) и по направлению (по оси OZ). Требуется определить максимально возможное значение дисперсии (СКО), которое может быть вычислено по выборкам эмпирических данных рассеивания ГММ СНК БпЛА МК, сформированных с использованием разных способов полигонного обмера. Далее, необходимо оценить точность вычисления дисперсии (СКО) рассеивания ГММ СНК ударных БпЛА МК по выборкам малого объема. В последующем, по вычисленным значениям СКО необходимо определить потребное количество СНК и БпЛА МК для поражения наземных объектов с требуемой вероятностью поражения. В заключении, необходимо определить зависимость потребного количества СНК и БпЛА МК от объема выборки эмпирических данных рассеивания ГММ СНК, сформированной в ходе летных испытаний.

Для решения этой задачи зададим следующие исходные данные:

1. Использовать указанные значения объема выборки эмпирических данных (таблица 5).
2. Надежность оценки дисперсии (γ) [1] примем равной 0,95.
3. В качестве наземного объекта будем использовать типовые наземные цели – самолет на открытой стоянке, размерами (по оси OX, по оси OZ) 14x10 м; бронетранспортер типа «Страйкер», размерами 8x3 м; аппаратная радиолокационной станции наведения и целеуказания зенитно-ракетного комплекса средней дальности, размерами 6x4 м.
4. Значение требуемой вероятности поражения цели ($P_{\text{треб}}$) примем равным 0,8; 0,9; 0,95 для каждого наземного объекта.

Для решения данной задачи воспользуемся известным вычислительным аппаратом математической статистики, а именно интервальной оценкой дисперсии (СКО) рассеивания случайного параметра при неизвестном математическом ожидании [33, 34].

За точечную несмещенную оценку дисперсии случайного параметра *X* – рассеивания ГММ СНК по дальности и случайного параметра *Z* – рассеивания ГММ СНК по направлению примем статистики D_x^* и D_z^* [1, с. 233]:

$$D_x^* = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - M_x^*)^2; \quad D_z^* = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Z_i - M_z^*)^2, \quad (1)$$



где M_x^* , M_z^* – оценка математического ожидания случайного вектора (X, Z) , определяемого по формулам [1, с. 233]:

$$M_x^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad M_z^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i. \quad (2)$$

Тогда, в результате оценки дисперсии по выборке объемом $n=10$, сформированной полигонным способом обмера № 1 за один день летных испытаний, имеем следующие точечные оценки дисперсии $d_x^*=39,62$ и $d_z^*=10,16$, а точечные оценки СКО $\sigma_x^*=6,29$ м и $\sigma_z^*=3,19$ м.

Для построения интервальной оценки дисперсии по дальности и по направлению будем использовать статистику «хи-квадрат» χ_x^2 и χ_z^2 [1, с. 234]:

$$\chi_x^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - M_x^*}{\sqrt{d_x}} \right)^2; \quad \chi_z^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i - M_z^*}{\sqrt{d_z}} \right)^2. \quad (3)$$

Границы доверительного интервала статистики «хи-квадрат» $[z_1; z_2]$ определяются величинами $\tilde{z}_1; \tilde{z}_2$, являющимися p_1, p_2 – процентными точками χ^2 – распределения, значения которых определяются как квантили статистики «хи-квадрат» $\chi_{k,p_1}^2; \chi_{k,p_2}^2$ [1, с. 234]:

$$\tilde{z}_1 = \chi_{k,p_1}^2; \quad \tilde{z}_2 = \chi_{k,p_2}^2, \quad (4)$$

где k – количество степеней свободы, рассчитываемое по формуле $k=n-1$; p_1, p_2 – вероятности выхода случайной величины $z = \chi^2$ за границы доверительного интервала, определяемые по формулам [1, с. 230]:

$$p_1 = \frac{1+\gamma}{2}; \quad p_2 = \frac{1-\gamma}{2}. \quad (5)$$

Численные значения границ доверительного интервала статистики «хи-квадрат» определяются по таблицам «процентных точек χ^2 – распределения» по числу степеней свободы (k) и надежности (γ) [1, с. 458].

В дальнейшем, для оценки дисперсии (d_x) рассеивания ГММ СНК по дальности, вычисляем границы доверительного интервала (\tilde{d}_1, \tilde{d}_2) по формулам [1, с. 230]:

$$\tilde{d}_1 = \frac{kd_x^*}{z_2}; \quad \tilde{d}_2 = \frac{kd_x^*}{z_1}. \quad (6)$$

Правая граница доверительного интервала (\tilde{d}_2) и будет являться максимальным вероятным значением дисперсии рассеивания ГММ СНК по дальности (d_{xmax}). Выражения (4–6) справедливы и при вычислении максимального вероятного значения дисперсии рассеивания ГММ СНК по направлению (d_{zmax}).

Тогда максимальное вероятное значение СКО по дальности (σ_{xmax}) и по направлению (σ_{zmax}) вычислим по формулам:

$$\sigma_{xmax} = \sqrt{d_{xmax}}; \quad \sigma_{zmax} = \sqrt{d_{zmax}}. \quad (7)$$



Оценку точности определения дисперсии (СКО) рассеивания ГММ СНК БЛА МК по дальности (по направлению) по выборкам малого объема выполним с использованием формулы вычисления погрешности СКО ($\Delta\sigma_{x(z)}$) [33, с. 266]

$$\Delta\sigma_{x(z)} = \sigma_{x(z)\max} - \sigma_{x(z)}^* \quad (8)$$

Для наглядности оценки зависимости погрешности СКО рассеивания ГММ СНК БЛА МК по дальности (по направлению) от разного объема выборки введем понятие относительной погрешности СКО (E), которая будет равна

$$E = \frac{\Delta\sigma_{x(z)}}{\sigma_{x(z)\max}} \quad (9)$$

Тогда эффективность способов определения координат точек падения макетов средств поражения БЛА МК можно выразить через безразмерную величину (ε), которая показывает повышение точности определения дисперсии (СКО) рассеивания ГММ СНК, в процентном соотношении, в зависимости от объема выборки по итогам одного дня летных испытаний, определяемому по формуле

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right) \cdot 100\% \quad (10)$$

где E_1 – относительная погрешность СКО ГММ СНК, рассчитанная по выборке эмпирических данных, сформированной с использованием способа определения координат точек падения макетов средств поражения № 1 (существующий способ полигонного обмера); E_2 – относительная погрешность СКО ГММ СНК, рассчитанная по выборке эмпирических данных, сформированной с использованием способа определения координат точек падения макетов средств поражения № 2 (разработанный способ полигонного обмера).

В таблице 6 представлены результаты определения относительной погрешности СКО, прироста точности определения дисперсии (СКО) рассеивания ГММ СНК БЛА МК по дальности и по направлению.

Таблица 6 – Результат оценки точности определения СКО ГММ СНК

Дни испытаний	1 день		2 дня		3 дня		4 дня		5 дней		6 дней		7 дней	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Способ измерений	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Объем выборки (n)	10	20	20	40	30	60	40	80	50	100	60	120	70	140
Максимальное значение оценки дисперсии (d_{2x})	131,8	84,4	84,4	65,23	71,5	58,85	65,23	55,51	61,44	53,39	58,85	51,91	56,96	50,8
Максимальное значение СКО ($\sigma_{x\max}$), м	11,48	9,19	9,19	8,08	8,46	7,67	8,08	7,45	7,84	7,31	7,67	7,2	7,55	7,13
Погрешность определения СКО ($\Delta\sigma_x$), м	5,19	2,9	2,9	1,79	2,17	1,38	1,79	1,16	1,55	1,02	1,38	0,91	1,26	0,84
Максимальное значение оценки дисперсии (d_{2z})	33,92	21,71	21,71	16,78	18,39	15,14	16,78	14,28	15,8	13,73	15,14	13,35	14,65	13,07
Максимальное значение СКО ($\sigma_{z\max}$), м	5,82	4,66	4,66	4,1	4,29	3,89	4,1	3,78	3,98	3,71	3,89	3,65	3,83	3,61
Погрешность определения СКО ($\Delta\sigma_z$), м	2,63	1,47	1,47	0,91	1,1	0,7	0,91	0,59	0,79	0,52	0,70	0,46	0,64	0,42
Относительная погрешность определения СКО (E)	0,83	0,46	0,46	0,28	0,34	0,22	0,28	0,18	0,25	0,16	0,22	0,15	0,2	0,13
Относительный прирост оценки точности определения СКО (ε), %	44,2 %		38,3 %		36,2 %		35,1 %		34,3 %		33,8 %		33,4 %	



Результаты в таблице 6 были рассчитаны в табличном процессоре Microsoft Excel по исходным данным летных испытаний [35]:

- надежность оценки дисперсии: $\gamma = 0,95$;
- вероятность выхода за границы доверительного интервала статистики χ^2 : $\alpha = 0,05$;
- вероятность выхода за правую границу доверительного интервала: $p_2 = \alpha/2 = 0,025$;
- вероятность не выхода за левую границу доверительного интервала: $p_1 = 1 - \alpha/2 = 0,975$;
- точечная оценка СКО СНК по дальности: $\sigma_x^* = 6,29$ м;
- точечная оценка дисперсии СНК по дальности: $d_x^* = 39,62$;
- точечная оценка СКО СНК по направлению: $\sigma_z^* = 3,19$ м;
- точечная оценка дисперсии СНК по направлению: $d_z^* = 10,16$.

Для наглядной иллюстрации оценки точности определения СКО рассеивания ГММ СНК ударных БпЛА МК, на рисунке 3 показан график зависимости относительной погрешности СКО (E) от объема выборки при разных значениях надежности интервальной оценки (γ), анализ которого, а также данных таблицы 6 показывает, что предложенный способ определения координат точек падения ГММ СНК ударных БпЛА МК позволяет повысить точность определения СКО рассеивания ГММ СНК на 44,2 % при малых объемах выборки статистических данных, сформированных по итогам одного летного дня. При увеличении объема выборки, за счет проведения летных испытаний в течение нескольких дней, точность определения СКО рассеивания ГММ СНК немного снижается и составляет 33,4 % по итогам 7 летных дней.

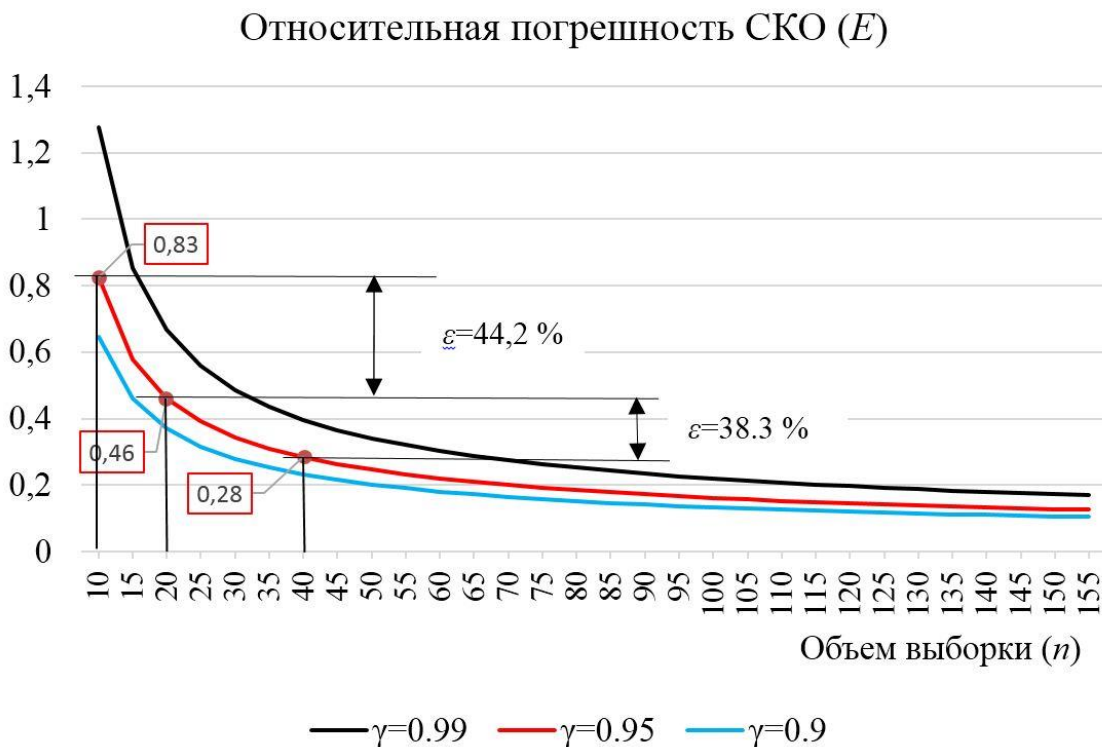


Рисунок 3 – Зависимость относительной погрешности СКО от объема выборки при разных значениях надежности оценки

Зная значение СКО ГММ СНК по дальности и по направлению можно определить необходимые наряды СНК и БпЛА МК при планировании действий по поражению наземных объектов. Для этого, с помощью известного выражения по определению вероятности попадания случайной точки (x, y) в прямоугольник, стороны которого параллельны осям рассеивания, а центр рассеивания (математическое ожидание) совпадает с его центром [36, 37], вычислим



вероятность попадания одним СНК в цель (P_1), форма которой в плане представляет собой прямоугольник:

$$P_1 = \frac{1}{4} \left[\Phi \left(\frac{x_2}{\sigma_{x\max}} \right) - \Phi \left(\frac{x_1}{\sigma_{x\max}} \right) \right] \times \left[\Phi \left(\frac{z_2}{\sigma_{z\max}} \right) - \Phi \left(\frac{z_1}{\sigma_{z\max}} \right) \right], \quad (11)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа; x_1, x_2, z_1, z_2 – координаты сторон цели.

Тогда требуемое количество СНК (обозначенное как n), необходимое для поражения наземной цели с требуемой вероятностью ($P_{\text{треб}}$), определяется выражением [36, 37]:

$$n = \frac{\ln(1 - P_{\text{треб}})}{\ln(1 - P_1)}. \quad (12)$$

В свою очередь, требуемое количество ударных БпЛА МК (N), необходимых для поражения цели, рассчитывается по формуле:

$$N = \left\lceil \frac{n}{m} \right\rceil, \quad (13)$$

где m – количество СНК, подвешиваемое на БпЛА МК.

В свою очередь, зависимость требуемого количества СНК от объема выборки статистических данных рассеивания ГММ СНК, сформированной по итогам летных испытаний, можно выразить через безразмерную величину (δ), которая показывает разницу в процентном соотношении между требуемыми количествами СНК и рассчитывается по формуле:

$$\delta = \left(1 - \frac{n_2}{n_1} \right) \cdot 100\%, \quad (14)$$

где n_1 – требуемое количество СНК БпЛА МК, рассчитанное по выборке эмпирических данных, сформированной с использованием способа определения координат точек падения макетов средств поражения БпЛА МК № 1 (существующий способ полигонного обмера); n_2 – требуемое количество СНК БпЛА МК, рассчитанное по выборке эмпирических данных, сформированной с использованием способа определения координат точек падения макетов средств поражения БпЛА МК № 2 (разработанный способ полигонного обмера).

В таблице 7 представлен частный результат оценки эффективности разных способов полигонного обмена.

Таблица 7 – Частный результат оценки эффективности разных способов полигонного обмена

Дни испытаний	1 день		2 дня		3 дня		4 дня		5 дней		6 дней		7 дней	
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Способ измерений	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2
Объем выборки (n)	10	20	20	40	30	60	40	80	50	100	60	120	70	140
СКО по дальности ($\sigma_{x\max}$), м	11,48	9,19	9,19	8,08	8,46	7,67	8,08	7,45	7,84	7,31	7,67	7,2	7,55	7,13
СКО по направлению ($\sigma_{z\max}$), м	5,82	4,66	4,66	4,1	4,29	3,89	4,1	3,78	3,98	3,71	3,89	3,65	3,83	3,61
Требуемое количество СНК ($n_{1,2}$), шт	29	20	20	17	18	15	17	15	16	14	15	14	15	14
Требуемое количество БпЛА МК ($N_{1,2}$), ед	8	5	5	5	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4
Процентное соотношение СНК от объема выборки (δ), %	31 %		15 %		16,7 %		11,8 %		12,5 %		6,7 %		6,7 %	



Результаты расчета произведены с использованием СПО «Пересвет» [15], необходимого количества СНК (n) и ударных БпЛА (N), а также величины зависимости необходимого количества СНК от объема выборки, рассчитанные по следующим исходным данным:

- требуемая вероятность поражения цели ($P_{треб}$) – 0,8;
- наземная цель – самолет тактической авиации на открытой стоянке, размерами 14x10 м.

Для наглядной иллюстрации зависимости необходимого количества СНК от объема выборки, сформированной по итогам летных испытаний, на рисунке 4 показан график процентного соотношения количества СНК БпЛА МК, рассчитанного на основе эмпирических данных рассеивания ГММ СНК, собранных известным способом полигонного обмера (столбцы синего цвета) и предложенным способом определения координат точек падения макетов боеприпасов (столбцы красного цвета).

Анализ таблицы 7 и графика (рисунок 4) показывает, что использование предложенного способа определения координат точек падения ГММ СНК ударных БпЛА МК, при формировании выборки статистических данных рассеивания средств поражения в течение одного летного дня полигонных испытаний, позволяет сократить необходимое количество СНК на 31 % – с 29 до 20 штук, при планировании применения ударных БпЛА МК для поражения наземной цели «самолет типа «F-16», что приводит к снижению количества выделяемых для решения данной задачи ударных БпЛА МК с 8 до 5 единиц. Такой же результат достигается при формировании выборки статистических данных рассеивания ГММ СНК по итогам 4-х летных дней. Дальнейшее увеличение количества дней летных испытаний нецелесообразно, так как это не приводит к сокращению количества ударных БпЛА МК.

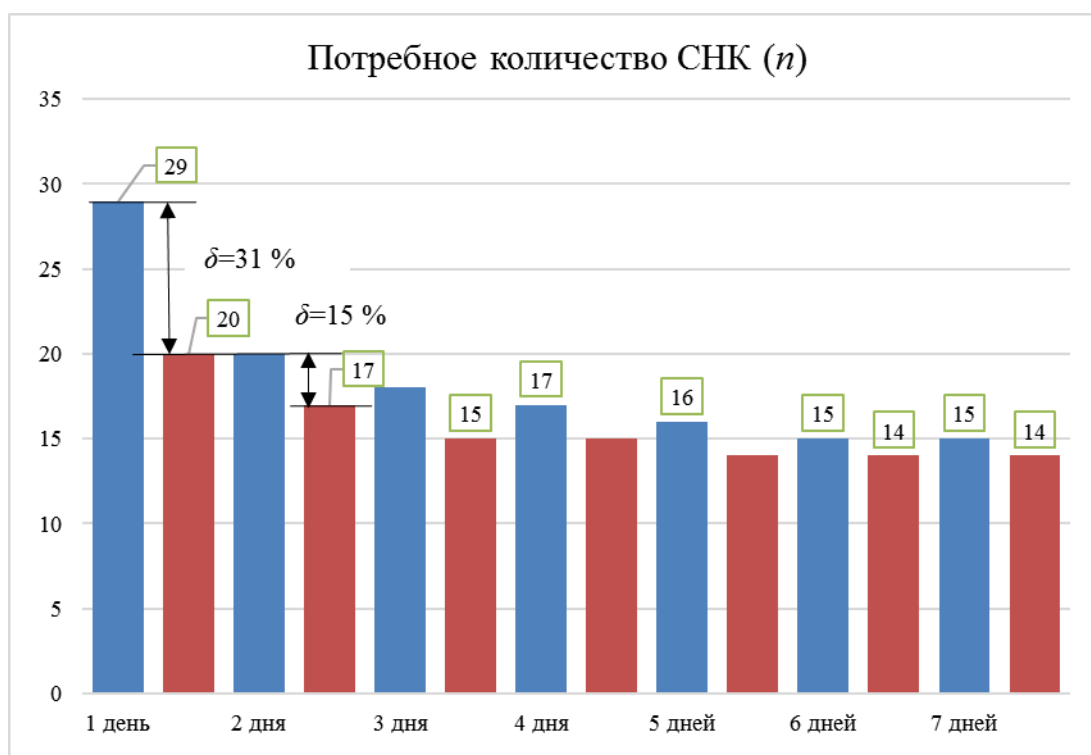


Рисунок 4 – Зависимость необходимого количества СНК от объема выборки, сформированной по итогам летных испытаний

Выводы. Предложенная методика оценки эффективности способов определения координат точек падения ГММ СНК ударных БпЛА МК в условиях формирования выборки эмпирических данных рассеивания макетов средств поражения малого объема и временных ограничений проведения летных испытаний позволила оценить точность вычисления дисперсии (СКО)



рассеивания ГММ СНК ударных БпЛА МК и обоснованно определить значения требуемого количества СНК и ударных БпЛА МК при планировании их применения для поражения наземных объектов. Это способствует более рациональному использованию выделяемого летного ресурса ударных БпЛА МК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монсик В.Б. Статистические основы авиационного вооружения: учебник / В.Б. Монсик. М: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003. 484 с.
2. Приказ Министра обороны РФ от 30 апреля 2007 года № 150 «Об утверждении Федеральных авиационных правил по штурманской службе государственной авиации». М.: «12 центральная типография МО РФ», 2007. 88 с.
3. Краснов А.М. Основы анализа процесса прицеливания в авиационных системах управления вооружением // Труды МАИ. 2012. № 61. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mai.ru/upload/iblock/b3c/osnovy-analiza-protsessa-pritselivaniya-v-aviatsionnykh-sistemakh-upravleniya-vooruzheniem.pdf> (дата обращения 10.10.2020).
4. Карпенко А.В. Беспилотный летательный аппарат «Феникс» // Военно-технический сборник «Бастион» (журнал оборонно-промышленного комплекса). 2019. № 11. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bastion-karpenko.ru/phoenix-bla> (дата обращения 10.10.2020).
5. Фрезе В.Р. Опыт применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами в вооруженных конфликтах // Гуманитарные проблемы военного дела. 2018. № 1 (14). С. 106–112.
6. Ананьев А.В., Филатов С.В., Лазорак А.В., Клевцов Р.П. Авиаформирования с интегрированными подразделениями БПЛА // Арсенал Отечества. 2019. № 4 (42). С. 16–20.
7. Рыбалко А.Г., Ананьев А.В., Лазорак А.В., Клевцов Р.П. Программное обеспечение определения потребных нарядов ударных беспилотных летательных аппаратов малого класса для поражения наземных целей // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2019. № 3 (30). С. 83–98.
8. Ананьев А.В., Филатов С.В., Рыбалко А.Г. Совместное применение пилотируемой авиации и разведывательно-ударных беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Военная мысль. 2019. № 4. С. 26–31.
9. 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 МАИ. 2019. № 1. С. 102–109.
10. 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. 455–460.
11. Приказ Министра обороны РФ от 25 октября 2001 г. № 431 «Об утверждении Федеральных авиационных правил по организации полигонной службы в государственной авиации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ivo.garant.ru/document?id=84285&sub=0> (дата обращения 18.09.2020).
12. Пат. 2708705 Российская Федерация, МПК F41J 5/00. Способ определения координат точки падения макета боеприпаса лазерным измерительным устройством / Рыбалко А.Г., Ананьев А.В., Клевцов Р.П.; заявитель и патентообладатель Рыбалко А.Г., Ананьев А.В., Клевцов Р.П.; заявл. 22.05.19; опубл. 11.12.19, Бюл. № 35.
13. Ананьев А.В., Рыбалко А.Г., Гончаренко В.И., Клевцов Р.П. Оперативная оценка ошибок попадания в цель свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов малого класса // Труды МАИ. 2019. № 107. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://trudymai.ru/upload/iblock/7b5/Ananev_Rybalco_Goncharenko_Klevtsov_rus.pdf?lang=ru&issue=107 (дата обращения 24.10.2020).



14. Специальное программное обеспечение «Система поддержки принятия решения ударных беспилотных летательных аппаратов «Пересвет» / Рыбалко А.Г., Ананьев А.В., Клевцов Р.П., Карбышева К.М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019619663 от 22.07.2019.
15. Шевелина И.В. Автоматизированная обработка и анализ данных с использованием статистико-графической системы Statgraphics Plus for Windows. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 58 с.
16. Уразбахтин А.И., Уразбахтин И.Г. Алгоритм определения параметров однородных генеральных совокупностей по репрезентативному ограниченному объему выборки из нее // Информационные технологии. 2006. № 4. Т. 4. С. 31–37.
17. Прохоров М.Е. Оценка качества распознавания при наличии единственной обучающей выборки ограниченного объема // Радиотехника и радиоэлектроника. 2007. № 1. Т. 52. С. 28–32.
18. Климченко В.В. Параметрическая идентификация частично наблюдаемых процессов в условиях ограниченного объема выборки данных // Информатика и системы управления. Стохастические системы. 2016. № 3 (49). С. 71–77.
19. Гвоздев В.Е., Костюкова А.П., Кириллов К.В. Статистическое оценивание показателей надежности систем обработки данных и управления по неполным сведениям о выборочных данных // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. № 4. Т. 12. С. 73–78.
20. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. М.: Статистика, 1978. 248 с.
21. Ивановский Р.И. Теория вероятности и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 528 с.
22. Амосова Н.Н. Вероятностные разделы математики / под ред. Ю.Д. Максимова. СПб.: Изд-во «Иван Федеров», 2001. 592 с.
23. Статистическое исследование территориальных систем: Монография / М.Б. Гузаиров, В.Е. Гвоздев, Б.Г. Ильясов, А.Е. Колоденкова. М.: Машиностроение, 2008. 187 с.
24. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратных программных комплексов: учеб. пособие / Г.Н. Черкесов. СПб.: Питер, 2005. 479 с.
25. Сызранцев В.Н., Змызгова Т.Р., Голофаст С.Л. Восстановление одномерных функциональных зависимостей по выборкам ограниченного объема // Известия вузов. Машиностроение. 2008. № 6. С. 71–76.
26. Куликов В.Б. Идентификация законов распределения по модельным и ограниченными выборкам данных в прикладной математической статистике // Cloud of Science. 2014. № 4. Т. 1. С. 595–606.
27. Колыхан Н.В., Тюрязев В.С. Информационные технологии статистической обработки данных выборок ограниченного объема // Инженерный вестник Дона. 2007. № 2. С. 37–50.
28. Гугушвили Д., Девнозашвили М., Кандашвили В., Климов А. Статистический анализ и методы оценивания распределений по малой выборке // Georgian Electronic Scientific Journal: Computer Science and Telecommunications. 2003. № 1. С. 14–26.
29. Вожов С.С. Исследование свойств непараметрической оценки функции распределения по интервальным данным // Сборник научных трудов НГТУ. 2015. № 1 (79). С. 33–44.
30. Самойленко А.П., Горбунова Е.Б. Полиномиальная интерполяция при синтезе моделей технологических объектов по выборкам данных критически ограниченного объема // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 11 (148). С. 24–31.
31. Мотричкин К.В., Сергеев А.Н. Построение системы прогнозирования с параметрами, оцениваемыми на выборках относительно малого объема // Вестник РЭУ. 2012. № 10. С. 102–109.
32. Корохов В.Г., Бурова И.В. Минимизация материально-энергетических сварочно-монтажных потерь при ограниченной экспериментальной выборке // Строительство и реконструкция. 2015. № 1 (57). С. 114–122.
33. Балдин К.В. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник / К.В. Балдин, В.Н. Башлыков. М.: Дашков и К, 2016. 472 с.



34. Справочник по прикладной статистике. М.: Финансы и статистика, 1990. 245 с.
35. Воскобойников Ю.Е. Математическая статистика (с примерами Excel). Новосибирск: НГАСУ, 2006. 152 с.
36. Боевые авиационные комплексы и их эффективность / И.В. Арбузов и др. / под ред. О.В. Болховитинова. М.: изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. 225 с.
37. Основы и применение методов прикладной математики в военном деле: учебник / под общ. ред. П.И. Иванова. Монино, 1991. 512 с.

REFERENCES

1. Monsik V.B. Statisticheskie osnovy aviacionnogo vooruzheniya: uchebnik / V.B. Monsik. M: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2003. 484 p.
2. Prikaz Ministra oborony RF ot 30 aprelya 2007 goda № 150 «Ob utverzhdenii Federal'nyh aviacionnyh pravil po shturmanskoj sluzhbe gosudarstvennoj aviacii». M.: «12 central'naya tipografiya MO RF», 2007. 88 p.
3. Krasnov A.M. Osnovy analiza processa pricelivaniya v aviacionnyh sistemah upravleniya vooruzheniem // Trudy MAI. 2012. № 61. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://mai.ru/upload/iblock/b3c/osnovy-analiza-protsessy-pritselivaniya-v-aviatsionnykh-sistemakh-upravleniya-vooruzheniem.pdf> (data obrascheniya 10.10.2020).
4. Karpenko A.V. Bepilotnyj letatel'nyj apparat «Feniks» // Voенно-теhnический сборник «Bastion» (zhurnal oboronno-promyshlennogo kompleksa). 2019. № 11. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://bastion-karpenko.ru/phoenix-bla> (data obrascheniya 10.10.2020).
5. Freze V.R. Opyt primeneniya kompleksov s bepilotnymi letatel'nymi apparatami v vooruzhennyh konfliktah // Gumanitarnye problemy voennogo dela. 2018. № 1 (14). pp. 106–112.
6. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Lazorak A.V., Klevcov R.P. Aviaformirovaniya s integrirovannymi podrazdeleniyami BPLA // Arsenal Otechestva. 2019. № 4 (42). pp. 16–20.
7. Rybalko A.G., Anan'ev A.V., Lazorak A.V., Klevcov R.P. Programmnoe obespechenie opredeleniya potrebnnyh naryadov udarnykh bepilotnykh letatel'nykh apparatov malogo klassa dlya porazheniya nazemnykh celej // Vestnik Koncerna VKO «Almaz-Antej». 2019. № 3 (30). pp. 83–98.
8. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Rybalko A.G. Sovmestnoe primeneniye pilotiruemoj aviacii i razvedyvatel'no-udarnykh bepilotnykh letatel'nykh apparatov maloj dal'nosti // Voennaya mysl'. 2019. № 4. pp. 26–31.
9. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Petrenko S.P., Rybalko A.G. `Eksperimental'naya aprobaciya primeneniya svobodnopadayuschih neupravlyaemykh kontejnerov s ispol'zovaniem bepilotnykh letatel'nykh apparatov blizhnego dejstviya // Vestnik MAI. 2019. № 1. pp. 102–109.
10. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Rybalko A.G. Statisticheskaya ocenka udarnykh vozmozhnostej bepilotnykh letatel'nykh apparatov maloj dal'nosti pri reshenii zadach pilotiruemoj aviacii // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2018. № 12. pp. 455–460.
11. Prikaz Ministra oborony RF ot 25 oktyabrya 2001 g. № 431 «Ob utverzhdenii Federal'nyh aviacionnyh pravil po organizacii poligonnoj sluzhby v gosudarstvennoj aviacii» [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://ivo.garant.ru/document?id=84285&sub=0> (data obrascheniya 18.09.2020).
12. Pat. 2708705 Rossijskaya Federaciya, MPK F41J 5/00. Sposob opredeleniya koordinat tochki padeniya maketa boepripasa lazernym izmeritel'nym ustrojstvom / Rybalko A.G., Anan'ev A.V., Klevcov R.P.; zayavitel' i patentoobladatel' Rybalko A.G., Anan'ev A.V., Klevcov R.P.; zayavl. 22.05.19; opubl. 11.12.19, Byul. № 35.
13. Anan'ev A.V., Rybalko A.G., Goncharenko V.I., Klevcov R.P. Operativnaya ocenka oshibok popadaniya v cel' svobodnopadayuschih neupravlyaemykh kontejnerov bepilotnykh letatel'nykh apparatov malogo klassa // Trudy MAI. 2019. № 107. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://trudymai.ru/upload/iblock/7b5/Anan'ev_Rybalko_Goncharenko_Klevtsov_rus.pdf?lang=ru&issue=107 (data obrascheniya 24.10.2020).



14. Special'noe programmnoe obespechenie «Sistema podderzhki prinyatiya resheniya udarnyh bespilotnyh letatel'nyh apparatov «Peresvet» / Rybalko A.G., Anan'ev A.V., Klevcov R.P., Karbysheva K.M. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya `EVM № 2019619663 ot 22.07.2019.
15. Shevelina I.V. Avtomatizirovannaya obrabotka i analiz dannyh s ispol'zovaniem statistiko-graficheskoy sistemy Statgraphics Plus for Windows. Ekaterinburg: UGLTU, 2005. 58 p.
16. Urazbahtin A.I., Urazbahtin I.G. Algoritm opredeleniya parametrov odnorodnyh general'nyh sovokupnostej po reprezentativnomu ogranichenomu ob`emu vyborki iz nee // Informacionnye tehnologii. 2006. № 4. T. 4. pp. 31–37.
17. Prohorov M.E. Ocenka kachestva raspoznavaniya pri nalichii edinstvennoj obuchayushej vyborki ogranichenogo ob`ema // Radiotekhnika i radio`elektronika. 2007. № 1. T. 52. pp. 28–32.
18. Klimchenko V.V. Parametricheskaya identifikaciya chastichno nablyudaemyh processov v usloviyah ogranichenogo ob`ema vyborki dannyh // Informatika i sistemy upravleniya. Stokhasticheskie sistemy. 2016. № 3 (49). pp. 71–77.
19. Gvozdev V.E., Kostyukova A.P., Kirillov K.V. Statisticheskoe ocenivanie pokazatelej nadezhnosti sistem obrabotki dannyh i upravleniya po nepolnym svedeniyam o vyborochnykh dannykh // `Elektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. 2016. № 4. T. 12. pp. 73–78.
20. Gaskarov D.V., Shapovalov V.I. Malaya vyborka. M.: Statistika, 1978. 248 p.
21. Ivanovskij R.I. Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika. Osnovy, prikladnye aspekty s primerami i zadachami v srede Mathcad. SPb.: BHV-Peterburg, 2008. 528 p.
22. Amosova N.N. Veroyatnostnye razdely matematiki / pod red. Yu.D. Maksimova. SPb.: Izd-vo «Ivan Federov», 2001. 592 p.
23. Statisticheskoe issledovanie territorial'nyh sistem: Monografiya / M.B. Guzairov, V.E. Gvozdev, B.G. Il'yasov, A.E. Kolodenkova. M.: Mashinostroenie, 2008. 187 p.
24. Cherkesov G.N. Nadezhnost' apparatnyh programmnykh kompleksov: ucheb. posobie / G.N. Cherkesov. SPb.: Piter, 2005. 479 p.
25. Syzrancev V.N., Zmyzgova T.R., Golofast S.L. Vosstanovlenie odnomernykh funkcional'nykh zavisimostej po vyborkam ogranichenogo ob`ema // Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. 2008. № 6. pp. 71–76.
26. Kulikov V.B. Identifikaciya zakonov raspredeleniya po model'nykh i ogranichenym vyborkam dannyh v prikladnoj matematicheskoy statistike // Cloud of Science. 2014. № 4. T. 1. pp. 595–606.
27. Kolyhan N.V., Tyuryaev V.S. Informacionnye tehnologii statisticheskoy obrabotki dannyh vyborok ogranichenogo ob`ema // Inzhenernyj vestnik Dona. 2007. № 2. pp. 37–50.
28. Gugushvili D., Devnozashvili M., Kandashvili V., Klimov A. Statisticheskij analiz i metody ocenivaniya raspredelenij po maloj vyborke // Georgian Electronic Scientific Journal: Computer Science and Telecommunications. 2003. № 1. pp. 14–26.
29. Vozhov S.S. Issledovanie svojstv neparametricheskoy ocenki funkcii raspredeleniya po interval'nykh dannykh // Sbornik nauchnykh trudov NGTU. 2015. № 1 (79). pp. 33–44.
30. Samojlenko A.P., Gorbunova E.B. Polinomial'naya interpolyaciya pri sinteze modelej tehnologicheskikh ob`ektov po vyborkam dannyh kriticheski ogranichenogo ob`ema // Izvestiya YuFU. Tehnicheskie nauki. 2013. № 11 (148). pp. 24–31.
31. Motrichkin K.V., Sergeev A.N. Postroenie sistemy prognozirovaniya s parametrami, ocenivaemymi na vyborkah otnositel'no malogo ob`ema // Vestnik R`EU. 2012. № 10. pp. 102–109.
32. Korohov V.G., Burova I.V. Minimizaciya material'no-`energeticheskikh svarочно-montaznykh poter' pri ogranichennoj `eksperimental'noj vyborke // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2015. № 1 (57). pp. 114–122.
33. Baldin K.V. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnik / K.V. Baldin, V.N. Bashlykov. M.: Dashkov i K, 2016. 472 p.



34. Spravochnik po prikladnoj statistike. M.: Finansy i statistika, 1990. 245 p.
35. Voskobochnikov Yu.E. Matematicheskaya statistika (s primerami Excel). Novosibirsk: NGASU, 2006. 152 p.
36. Boevye aviacionnye komplekсы i ih `effektivnost' / I.V. Arbuzov i dr. / pod red. O.V. Bolhovitinova. M.: izd. VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 2008. 225 p.
37. Osnovy i primeneniye metodov prikladnoj matematiki v voennom dele: uchebник / pod obsch. red. P.I. Ivanova. Monino, 1991. 512 p.

© Ананьев А.В., Рыбалко А.Г., Волотов Е.М., 2020

Ананьев Александр Владиславович, доктор технических наук, доцент кафедры противодействия техническим средствам разведки, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, sasha303_75@mail.ru.

Рыбалко Андрей Григорьевич, научный сотрудник отдела научно-исследовательского, научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, rybalkovvs@yandex.ru.

Волотов Евгений Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры испытания авиационной техники, филиал «Взлет» федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный университет)», Россия, 416501, Астраханская область, г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, 5, volotovevgenii@gmail.com.