УДК [623.4.011+004.45] : 623.746.4-519

А. Г. Рыбалко, А. В. Ананьев,
А. В. Лазорак, Р. П. Клевцов

Программное обеспечение определения потребных нарядов ударных беспилотных летательных аппаратов малого класса для поражения наземных целей

Представлено специальное программное обеспечение, позволяющее повысить оперативность подготовки исходных данных и выполнения штурманских расчетов при планировании ударных действий беспилотных летательных аппаратов малого класса по наземным объектам. Разработаны способы измерения координат точек падения макетов средств поражений, в результате интеграции которых удалось сократить время определения параметров рассеивания габаритно-массовых макетов средств поражений беспилотных летательных аппаратов малого класса – свободнопадающих неуправляемых контейнеров в два раза, а также существенно повысить достоверность статистических данных. Приведены закономерности распределения и точностные характеристики ударного беспилотного авиационного комплекса, полученные с помощью указанного программного средства во время проведения заводских испытаний по оценке точности сброса габаритно-массовых макетов свободнопадающих неуправляемых контейнеров. Разработанное специальное программное обеспечение позволяет определять потребные наряды беспилотных летательных аппаратов и автоматизировать подготовку отчетной документации.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, специализированное программное обеспечение, статистическая оценка, рассеивание средств поражения, эффективность поражения целей, заводские испытания, свободнопадающий неуправляемый контейнер.

В последние годы появилось новое средство вооружения – ударные беспилотные летательные аппараты малого класса (БПЛА МК) [1–5], взлетная масса которых менее 30 кг. Преимуществами использования данных БПЛА являются низкие затраты на изготовление, невысокие требования к уровню подготовки операторов управления БПЛА, а также низкая уязвимость к средствам противовоздушной обороны противника вследствие малой заметности в различных диапазонах длин волн [6].

В то же время экспериментально доказана возможность высокоточного применения макетов средств поражения (СП) с БПЛА МК на расстоянии от места взлета до 300 км [7]. При этом СП для БПЛА МК являются свободнопадающие неуправляемые контейнеры (СНК), снаряжаемые боеприпасами ударного и дистанционного действия [8, 9], которые можно выделить в новый класс в общей номенклатуре авиационных средств поражения (АСП).

Учитывая дальность управления и точность сброса, БПЛА МК можно применять совместно с пилотируемой авиацией для решения ударных задач в оперативной и оперативно-тактической глубине [10]. Это позволяет

обоснованно утверждать, что отечественные БПЛА МК являются ударным средством, способным наносить ущерб наземным объектам. Таким образом, возникает интерес определения необходимого количества БПЛА МК и СНК (потребных нарядов) при планировании нанесения удара по наземным объектам.

В пилотируемой авиации в основе математического аппарата [11] определения потребных нарядов самолетов и АСП лежит знание о закономерностях рассеивания АСП: известные значения среднего квадратического отклонения (СКО), вероятного отклонения (ВО) АСП, а также математического ожидания (центра рассеивания АСП) [12]. При этом численные значения СКО определяются в соответствующих научных и исследовательских организациях путем статистической обработки ежегодно поступающих из авиационных частей данных о результатах боевого применения АСП при выполнении учебно-тренировочных полетов. Очевидно, что и для ударной беспилотной авиации необходимо выполнять такие же мероприятия по определению закономерностей рассеивания и вычисления систематической ошибки сброса (ошибки бомбометания) и параметров рассеивания АСП. Однако высокая интенсивность полетов и большее количество, по сравнению с пилотируемой авиацией, удар-

ных БПЛА МК накладывает определенные ограничения при определении ошибки бомбометания БПЛА МК новых серий. В связи с этим для сокращения времени обработки результатов и определения параметров рассеивания СНК данные мероприятия актуально выполнять непосредственно в полевых условиях.

Для определения систематической ошибки сброса требуются анализ и обработка больших массивов полетных данных и результатов применения СНК, что приводит к существенным временным затратам и дополнительной нагрузке на должностных лиц и личный состав расчетов наземных пунктов управления формирований БПЛА. Повышение скорости обработки статистических данных применения СНК и определения потребных нарядов достигается за счет автоматизации данного процесса.

В пилотируемой авиации средствами автоматизации обработки полигонных данных и определения потребных нарядов является специальное программное обеспечение (СПО): СПО «Планшет полигона» [13]; наземный автоматизированный комплекс подготовки полетных заданий (НАК ППЗ) [14]; универсальный комплекс автоматизированной подготовки полетных данных (УКА ППД) [15]. По результатам анализа возможностей указанных СПО можно заключить, что данные средства автоматизации не могут быть использованы в полной мере для обработки статистических данных, определения закономерностей рассеивания СНК и систематической ошибки сброса БПЛА МК и оценки эффективности применения СНК при поражении наземных объектов.

Так, например, в основу расчетных алгоритмов СПО «Планшет полигона» заложен метод триангуляции (способ засечек) [16], который используется для определения координат точек падения АСП, что существенно облегчает работу группы руководства полетами на авиационном полигоне. В то же время обработать статистические данные и выполнить оценку эффективности применения СП (определить вероятность поражения наземной цели) с должной оптимизацией не представляется возможным.

В другом средстве автоматизации – НАК ППЗ – реализованы вычислительные алгоритмы зонной методики [17], которые позволяют

оценить эффективность применения любого АСП, имеющегося в номенклатуре пилотируемой авиации, по различным группам наземных объектов, определяемыми руководящими документами. Недостатком данного комплекса является отсутствие возможности обработки статистических данных результатов боевого применения АСП для определения их закономерностей и параметров рассеивания.

Следующим средством автоматизации, поступающим на снабжение в авиационные части, является УКА ППД. По сути, это сложная информационная система, для управления которой требуются операторы-пользователи из состава должностных лиц штурманской службы высокого профессионального уровня подготовки. УКА ППД позволяет обрабатывать статистические данные результатов боевого применения и определять параметры рассеивания АСП. Кроме того, с помощью УКА ППД можно выполнить оценку эффективности применения АСП при поражении одиночных, групповых и площадных наземных объектов, определить необходимое количество АСП, а также выбрать рациональный состав боевой зарядки и тип АСП. Однако использование УКА ППД для оценки эффективности применения БПЛА МК и СНК не представляется возможным, так как в расчетных алгоритмах комплекса не интегрированы специальные способы обмера, а также не реализована возможность смещения точки прицеливания, тем самым не учитываются особенности средств поражения БПЛА МК, в частности, малый калибр и малая мощность.

Следовательно, возникает необходимость разработки нового средства автоматизации, обеспечивающего выявление закономерностей рассеивания СНК, вычисления точностных характеристик БПЛА и определения необходимого количества БПЛА и СНК при планировании мероприятий по поражению наземных объектов.

Цель работы – разработка специального программного обеспечения определения потребных нарядов ударных БПЛА МК для поражения наземных целей, учитывающего особенности применяемых авиационных средств поражения.

Для достижения поставленной цели разработано СПО «Система поддержки принятия решений ударных беспилотных летательных аппаратов (СППР УБПЛА) «Пересвет» [18], позволяющее решать следующие задачи:

- осуществление учета, обработки, хранения и графического отображения статистических полигонных данных результатов применения СНК с БПЛА МК в различных условиях сброса (параметров полета БПЛА), формирование базы данных результатов сброса;
- автоматизированное определение систематической ошибки сброса серийного БПЛА МК (параметров рассеивания СНК) методами математической статистики. Формирование базы данных точностных характеристик БПЛА МК;
- определение рационального положения точки прицеливания БПЛА МК для повышения вероятности попадания СНК в различных условиях сброса в наземную цель, заложенную в базу данных СПО;
- автоматизированное определение необходимого количества ударных БПЛА МК и СНК для поражения наземной цели с заданной вероятностью на основе нового научно-методического аппарата;

• автоматизированное формирование формализованной документации учета результатов сброса СНК с БПЛА МК.

Стоит отметить, что идея разработки СПО «Пересвет» возникла во время проведения экспериментальных исследований по сбросу габаритно-массовых макетов (ГММ) СНК с БПЛА МК [7, 19]. На рис. 1 показан процесс определения радиального отклонения точки падения ГММ СНК во время проведения экспериментальных исследований способом обмера. Для определения координат точек падения ГММ СНК использованы способы обмера мерной лентой (см. рис. 1, а) и дальномерной рейкой (см. рис. 1, б) [16].

Однако в преддверии подготовки к заводским испытаниям ударных БПЛА МК по оценке точности, предполагавшим набор достаточного объема статистических данных о рассеивании макетов средств поражений, стало очевидно следующее. Во-первых, использование мерных лент приведет к неприемлемым временным затратам проводимых измерений в условиях высокой интенсивности полетов. Во-вторых, сильно растянутые по времени испытания неизбежно сопровождались бы существенными изменениями погодных условий,

Рис. 1. Варианты реализации способа обмера в ходе проведения эксперимента:

а – с использованием мерной ленты; б – с использованием дальномерной рейки; в – обработка результатов применения ГММ СНК

что привело бы к снижению достоверности экспериментально определяемых закономерностей и параметров рассеивания. Отметим, что все расчеты по преобразованию полярных координат точек падения ГММ СНК в прямоугольные выполнены вручную, результаты отображены на миллиметровой бумаге (см. рис. 1, в).

Данные факторы показали необходимость разработки новых способов определения координат точек падения ГММ СНК, сущность которых раскрыта в работе [20]. Оба разработанных способа основаны на методе прямых и косвенных измерений с использованием светодальномерных измерительных устройств с зондирующим лазерным сигналом [21]. Так, в способе № 1 в центре мишени устанавливается это устройство, а в точку падения ГММ СНК – светоотражатель. Определяется азимут ($A_{\text{тп}}$) и дальность ($D_{\text{тп}}$) до точки падения ГММ СНК. На рис. 2 показана реализация предложенного способа измерения координат точки падения СНК в ходе практических испытаний ударных БПЛА МК.

Сущность способа № 2 заключается в установке измерительного устройства за пределами мишени. Измеряются азимут ($A_{\text{м}}$) и дальность ($D_{\text{м}}$) до центра мишени. В каждую

точку падения ГММ СНК устанавливается светоотражатель и измеряется азимут ($A_{\text{тп}}$) и дальность ($D_{\text{тп}}$) точки падения ГММ СНК. Далее с помощью тригонометрических выражений происходит вычисление азимута и радиального отклонения точки падения ГММ СНК относительно центра мишени. Выбор способа зависит от интенсивности сброса СНК (малая или большая серия испытаний).

Предложенные новые способы определения координат точек падения СНК были интегрированы в СПО «Пересвет». Кроме того, для оценки эффективности применения БПЛА МК с учетом специфики СНК было необходимо разработать новый научно-методический аппарат [22], который и является основой работы расчетных модулей данного средства автоматизации. В частности, алгоритм работы СПО «Пересвет» (рис. 3) позволяет определить вероятность попадания СНК в цель (P_i) в зависимости от положения точки прицеливания (координаты x_i, z_i). При этом задается диапазон координат смещения точки прицеливания по осям:

$x_{\text{н}} \dots x_{\text{к}}$ – начальное и конечное положение точки прицеливания по дальности;

$z_{\text{н}} \dots z_{\text{к}}$ – начальное и конечное положение точки прицеливания по направлению.

Рис. 2. Практическая апробация нового способа измерения отклонений ГММ СНК:
а – измерение координат центра мишени; б – измерение координат точки падения ГММ СНК

Рис. 3. Алгоритм работы СПО СШР УБЛА «Пересвет»

Затем выбирается шаг смещения положения точки прицеливания по дальности и направлению ($\Delta x, \Delta z$), определяется начальное положение точки прицеливания и вычисляется вероятность попадания СНК в цель (P_i). Полученные результаты заносятся в базу данных СПО, в которой сохраняются все значения вероятности попадания при определенных координатах положения точки прицеливания (x_i, z_i).

Впоследствии положение точки прицеливания смещается по дальности и по направлению на значение выбранного шага смещения ($\Delta x, \Delta z$) и цикл повторяется. В итоге работы алгоритма выбирается рациональное положение точки прицеливания по дальности и по направлению, путем сравнения между собой всех вероятностей попадания СНК в цель (P_i) по максимальному числовому значению. Ко-

ординаты точки прицеливания, которым соответствует максимальная вероятность попадания СНК в цель, и являются рациональными.

Структурно СПО СППР УБПЛА «Пересвет» включает в себя пять связанных между собой функциональных модулей: модуль ввода исходных данных; модуль обработки статистических данных сбросов СНК; модуль определения точки прицеливания БПЛА; модуль определения потребных нарядов БПЛА МК и СНК; модуль формирования отчетной документации. Функциональная схема СПО СППР УБПЛА «Пересвет» показана на рис. 4.

Модуль ввода исходных данных запускает начальную фазу работы СПО. Он предназначен для формирования БД и последующего ее заполнения исходными данными по БПЛА, СНК, характеристиками мишенного поля, ус-

Рис. 4. Функциональная схема СПО СППР УБПЛА «Пересвет»:
БД – база данных

Рис. 5. Интерфейс модуля ввода исходных данных в СПО «Пересвет»:

1 – графическое поле отображения результатов применения СНК; 2 – блок ввода данных по БПЛА и СНК; 3 – блок ввода условий сброса СНК; 4, 5 – блоки ввода данных для определения отклонений точек падения СНК; 6 – блок отображения численного значения результата применения СНК

ловиям сброса СНК, а также результатами применения СНК. В данный модуль интегрирован математический аппарат вновь разработанных способов определения координат точек падения СНК. Графическая часть функционального модуля обеспечивает отображение результатов применения СНК на схеме мишенного поля, ориентированного относительно выбранного начала отсчета (магнитного, истинного меридиана). Графический интерфейс данного функционального модуля СПО «Пересвет» отображен на рис. 5.

Полученные экспериментальные статистические данные результатов применения СНК аккумулируются в БД СПО «Пересвет» и используются в модуле обработки статистических данных сбросов СНК для определения закономерностей и вычисления параметров рассеивания СНК. Вид закона распределения эмпирических данных о координатах точек падения СНК определяется посредством внешнего программного средства, в качестве которого в работе на текущем этапе разработки СПО

применялся статистический пакет прикладных программ *Statgraphics Plus 5.0* [23, 24]. Результат обработки данных, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований, с помощью программы *Statgraphics Plus 5.0* приведен ниже. В дальнейшем в СПО «Пересвет» планируется создать дополнительный функциональный модуль по определению вида распределения, чтобы исключить внешние программные средства. Графический интерфейс при работе с функциональным модулем обработки статистических данных в СПО «Пересвет» представлен на рис. 6.

Полученные значения параметров рассеивания СНК передаются в следующие функциональные модули: модуль исходных данных (в БД БПЛА); модуль определения положения точки прицеливания; модуль формирования формализованных документов учета результатов применения СНК.

В модуле определения точки прицеливания БПЛА СПО «Пересвет» по выбранной из БД наземной цели осуществляется автоматизи-

Рис. 6. Интерфейс модуля определения параметров рассеивания СНК:

1 – графическое поле отображения результатов применения СНК; 2 – блок отображения статистических данных точек падения СНК; 3 – блок отображения параметров рассеивания СНК

рованное определение положения точки прицеливания БПЛА по дальности и направлению с учетом рассчитанных значений параметров рассеивания – математического ожидания отклонений точек падения СНК (центра рассеивания) по дальности и направлению (m_x, m_z); среднего квадратического отклонения (СКО) точки падения СНК (σ_x, σ_z); вероятного отклонения точки падения СНК (E_x, E_z). В настоящее время БД наземных целей включают характеристики типовых легкоуязвимых наземных объектов: самолетов тактической авиации; десантно-транспортных вертолетов; радиолокационных станций (РЛС) наведения, целеуказания и подсвета цели зенитно-ракетного комплекса (ЗРК) средней дальности (СД); командно-штабных машин; автомобильных радиостанций; аппаратной связи. Алгоритм расчета (см. рис. 3, выноска «блока определения рационального положения точки прицеливания по дальности и по направлению» общего алгоритма работы СПО СППР УБПЛА «Пересвет») включает в себя следующие шаги.

1. Задаются границы смещения точки прицеливания по дальности и направлению ($x_n \dots x_k; z_n \dots z_k$).

2. Задается шаг смещения точки прицеливания ($\Delta x; \Delta z$).

3. Выбирается начальное положение точки прицеливания ($x_0 = x_n; z_0 = z_n$).

4. Вычисляется вероятность попадания СНК в каждую i -ю уязвимую зону цели ($P_i(x)$) с помощью выражения

$$P_i(x) = \left[\Phi \left(\frac{x_2 - m_x - x_i}{\sigma_x} \right) - \Phi \left(\frac{x_1 - m_x - x_i}{\sigma_x} \right) \right] \times \left[\Phi \left(\frac{z_2 - m_z - z_i}{\sigma_z} \right) - \Phi \left(\frac{z_1 - m_z - z_i}{\sigma_z} \right) \right]. \quad (1)$$

Здесь Φ – функция Лапласа;

x_1, x_2, z_1, z_2 – координаты сторон i -й уязвимой зоны;

m_x, m_z – центр рассеивания СНК (математическое ожидание);

σ_x, σ_z – СКО СНК по осям OX и OZ ;

x_i, z_i – координаты точки прицеливания по дальности и по направлению, определяемые по формулам

$$x_i = x_0 + \Delta x, \quad z_i = z_0 + \Delta z. \quad (2)$$

где x_0, z_0 – начальное положение точки прицеливания;

Рис. 7. Интерфейс модуля определения положения точки прицеливания БПЛА:

1 – блок ввода данных по оценке эффективности применения СНК; 2 – блок ввода данных для выбора точки прицеливания; 3 – блок ввода данных для автоматизации выбора точки прицеливания; 4 – графическое поле отображения положения точки прицеливания; 5 – блок ручного ввода параметров рассеивания СНК

Δx ; Δz – величина шага смещения точки прицеливания по дальности и по направлению.

5. Определяется вероятность попадания СНК в цель $P(x)$ как суммарное значение вероятностей попадания СНК во все уязвимые зоны.

6. Значение вероятности из шага 5 заносится в БД функционального модуля.

7. Изменяется положение точки прицеливания на заданный шаг смещения, затем повторяются шаги 1–6.

8. После просчета всех вариантов положения точек прицеливания в функциональном блоке выполняется сравнение вероятностей попадания СНК между собой и определяется максимальное ее значение.

9. Из БД функционального блока выбираются координаты точки прицеливания, соответствующие значению максимальной вероятности попадания СНК в цель, т. е. определяется рациональное положение точки прицеливания БПЛА.

На рис. 7 показан графический интерфейс СПО «Пересвет» по определению рационального положения точки прицеливания БПЛА.

Рациональное положение точки прицеливания используется в СПО «Пересвет» в модуле определения потребного наряда БПЛА и СНК при решении прямой и обратной задачи оценки эффективности применения СНК с БПЛА, с учетом специфики СНК. То есть определения вероятности поражения наземной цели одним СНК, одним БПЛА с полным боекомплектом (прямая задачи) и необходимого количества БПЛА и СНК для поражения наземной цели с заданной (гарантированной) вероятностью.

Для учета особенностей СП БПЛА, в частности, малой мощности и малого калибра СНК, в вычислительную часть функционального модуля СПО помимо известного вероятностного подхода [25, 26] заложен альтернативный вариант определения наносимого ущерба на основе теории рисков [22]. Реализация нового подхода достигается путем выбора значения «экспериментальный» в поле «закон поражения цели при попадании одного СП» (см. рис. 7, блок 1). При этом в расчетную

Рис. 8. Интерфейс модуля по определению потребных нарядов БПЛА:

1 – графическое поле вероятности попадания СНК в цель; 2 – информационный блок вероятности попадания СНК в уязвимые зоны; 3 – блок результатов оценки эффективности применения СНК с БПЛА

часть СПО автоматически вводятся обобщающие коэффициенты для определения наносимого ущерба наземной цели. Результаты решения прямой и обратной задачи оценки эффективности применения СНК отображаются в данном модуле СПО на информационно-графическом поле (рис. 8, блок 1).

Заключительный этап работы СПО СППР УБПЛА «Пересвет» реализуется с помощью модуля формирования документов. С помощью этого модуля можно формировать формализованную отчетную документацию учета результатов применения СНК с ударных БПЛА МК в различных текстовых форматах (файлы с расширениями *.pdf, *.docx) в форме таблицы. Кроме результатов применения СНК в таблице также указываются точностные характеристики БПЛА: систематическая ошибка сброса БПЛА и параметры рассеивания СНК. В качестве примера ниже приведена табл. 1, содержащая результаты экспериментальных сбросов ГММ СНК в ходе заводских испытаний ударного БПЛА МК.

С помощью анализа и обработки полученных экспериментальных данных методами

математической статистики [27, 28] в программе *Statgraphics Plus 5.0* определяется вид закона распределения точек падения ГММ СНК. В качестве возможных законов распределений использованы распределения Коши, Лапласа, логистическое, нормальное, равномерное распределения. Эмпирические данные статистического ряда были проверены по критерию согласия χ^2 Пирсона и критерию Колмогорова – Смирнова при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Результаты проверки представлены в табл. 2, 3.

На рис. 9 приведены гистограмма частот и графики кумулятивных кривых эмпирических распределений с наложением на них графиков плотностей и функций проверяемых видов распределений.

В результате исследований определено, что вид распределения координат точек падения СНК наилучшим образом соответствует нормальному закону распределения, поэтому именно он лежит в основе расчетных алгоритмов функционального модуля обработки статистических данных сбросов СНК. Это позволило экспериментально определить законо-

Таблица 1

Результаты применения СНК с экспериментального БПЛА МК «Феникс» 27.11.2018 г.

№ п/п	Дата	Тип БПЛА	Борт. номер	Цель (коорд.)	Тип АСП	№ вылета	№ захода	Время фак- тич.	Высота приме- нения, м	Скорость приме- ния, м/с БАРО/ GPS	Истин- ный курс	Угол крена/ тангажа	Азимут точки падения	Удаление точки падения, м	Отклоне- ние по оси ОХ, м перелет/ недолет	Отклоне- ние по оси ОУ, м вправо/ влево	Математическое ожидание точек падения СНК (МО)		Среднее квадратич- ское отклонение точек падения СНК (СКО)		Вероятное отклонение точек падения СНК (ВО)	
																	по дальности	по направлению	по дальности	по направлению	по дальности	по направлению
1	27.11.2018	Феникс	976	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)	1	1	09:15	300	17,9 16,0	300	0,7 2,6	180	5,8	-2,93	-5,03						
2	27.11.2018	Феникс	976	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		2	09:21	300	22,8 20,0	300	-0,3 1,6	286	2,3	2,27	-0,57						
3	27.11.2018	Феникс	976	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		3	9:27	300	17,9 16,0	300	0,2 1,1	166	5,8	-4,06	-4,21						
4	27.11.2018	Феникс	976	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		4	9:33	300	22,8 20,0	300	0,2 1,1	170	7,9	-5,12	-6,05						
5	27.11.2018	Феникс	978	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)	2	1	10:05	300	24,0 22,0	300	0,2 1,1	192	5,0	-1,52	-4,80						
6	27.11.2018	Феникс	978	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		2	10:12	300	17,9 16,0	300	0,2 1,1	271	6,8	5,95	-3,24						
7	27.11.2018	Феникс	978	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		3	10:18	300	20,0 18,0	300	0,7 2,6	130	8,7	-8,51	-1,56						
8	27.11.2018	Феникс	978	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		4	10:24	300	24,0 22,0	300	-0,3 1,6	187	4,3	-1,67	-3,95						
9	27.11.2018	Феникс	976	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)	3	1	10:48	300	22,9 21,0	300	0,2 1,1	198	2,1	-0,43	-2,03						
10	27.11.2018	Феникс	976	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		2	10:54	300	17,4 16,0	300	0,5 2,5	237	7,5	3,44	-6,66						
11	27.11.2018	Феникс	976	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		3	10:59	300	20,0 18,0	300	-0,2 2,5	138	1,9	-1,82	-0,59						
12	27.11.2018	Феникс	976	TRG-1 60,07512 30,53031	СНК (РГО)		4	11:06	300	20,5 8,60	300	-0,6 -0,4	180	5,8	-4,59	-2,20

Таблица 2

Результаты проверки распределения точек падения СНК по оси OX

Параметр	Законы распределения случайных величин				
	Коши	Лапласа	Логистический	Нормальный	Равномерный
Результаты проверки по критерию согласия χ^2 Пирсона					
Статистика χ^2	17,80	15,25	13,55	9,30	22,90
Число степеней свободы	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Уровень значимости	0,216	0,361	0,483	0,811	0,061
Результаты проверки по критерию согласия Колмогорова – Смирнова					
Статистика D_n^+	0,088	0,121	0,095	0,088	0,128
Статистика D_n^-	0,102	0,065	0,057	0,05	0,162
Статистика D_n	0,102	0,121	0,095	0,088	0,162
Уровень значимости	0,799	0,602	0,863	0,916	0,243

Таблица 3

Результаты проверки распределения точек падения СНК по оси OZ

Параметр	Законы распределения случайных величин				
	Коши	Лапласа	Логистический	Нормальный	Равномерный
Результаты проверки по критерию согласия χ^2 Пирсона					
Статистика χ^2	17,80	16,95	11,00	8,450	16,95
Число степеней свободы	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Уровень значимости	0,216	0,259	0,686	0,864	0,259
Результаты проверки по критерию согласия Колмогорова – Смирнова					
Статистика D_n^+	0,115	0,128	0,093	0,077	0,070
Статистика D_n^-	0,094	0,096	0,078	0,073	0,231
Статистика D_n	0,115	0,128	0,093	0,077	0,231
Уровень значимости	0,660	0,537	0,873	0,971	0,027

Рис. 9. Точки падения СНК, полученные согласно законам распределения Коши (—), Лапласа (—), логистическому (—), нормальному (—) и равномерному (—):
а – гистограмма распределения координат точек падения по оси OX ; б – кумулятивная кривая распределения координат точек падения по оси OX ; в – гистограмма распределения координат точек падения по оси OZ ; г – кумулятивная кривая распределения координат точек падения по оси OZ

мерности рассеивания ГММ СНК при сбросе с разной высоты. В качестве примера на рис. 10 в виде поверхности плотности распределения приведена закономерность распределения ГММ СНК при сбросе с высоты 300 м.

Рис. 10. Графическое отображение закономерности распределения ГММ СНК с высоты 300 м

В аналитическом виде закономерность распределения ГММ СНК выражается функцией плотности вероятности двумерной случайной величины:

$$f(x, z) = \frac{1}{19,76\pi} \exp \left[-\frac{(x+1,16)^2}{27,04} - \frac{(z+3,06)^2}{3,61} \right]. \quad (3)$$

Заключение

Таким образом, использование разработанного СПО «Система поддержки принятия решения ударных беспилотных летательных аппаратов «Пересвет» позволило определить точностные характеристики ударных БПЛА МК, закономерности и параметры рассеивания средств поражения за счет интегрирования адаптированных способов обмера. Закономерности распределения СНК позволяют планировать мероприятия по поражению наземных объектов при расчете потребных нарядов. В результате автоматизации измерений за счет СПО удалось сократить время определения закономерностей на 30–40 % по отношению к предыдущим полевым испытаниям. Использование личным составом расчетов наземных пунктов управления БПЛА

МК, разработанного СППР, обеспечит выполнение штурманских расчетов при подготовке и планировании боевого применения данных комплексов.

Список литературы

1. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2 кн.: кн. 1. Принципы построения и особенности применения комплексов с БЛА / под ред. В. С. Вербы, Б. Г. Таттарского. М.: Радиотехника, 2016. 512 с.
2. 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: сб. трудов II Военно-научной конференции. Москва, 2017. С. 187–195.
3. Фрезе В. Р. Опыт применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами в вооруженных конфликтах // Гуманитарные проблемы военного дела. 2018. № 1 (14). С. 106–112.
4. Атаковавшие базу в Хмеймим беспилотники, технический разбор // LiveJournal. Дата публ.: 09.01.2018. 21:02. URL: <https://ilipin.livejournal.com/162716.html> (дата обращения: 22.03.2018).
5. Начальник Управления строительства и развития системы применения БПЛА Генштаба ВС РФ генерал-майор Александр Новиков провел брифинг для представителей российских и зарубежных СМИ // Министерство обороны Российской Федерации (Минобрны России). Дата публ.: 11.01.2018. 17:00. URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12157872@egNews (дата обращения 22.03.2018).
6. Зубов В. Н. Современные террористические и асимметричные угрозы // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 5–6 (119–120). С. 47–57.
7. 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. Вып. № 12. С. 455–460.
8. Средства поражения и боеприпасы / А. В. Бабин, В. А. Велданов, Е. Ф. Грязнов и др.; под

общ. ред. В. В. Селиванова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.

9. *Авиационные боеприпасы: учебник для слушателей и курсантов высших инженерных военно-учебных заведений ВВС / Ф. П. Миропольский, Е. В. Пырьев, В. В. Головенкин, С. В. Хрулин*; под ред. Ф. П. Миропольского. М.: Изд-во ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», 2010. 407 с.

10. *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.

11. *Вентцель Е. С. Введение в исследование операций*. М.: Изд-во «Советское радио», 1964. 391 с.

12. *Монсик В. Б. Статистические основы авиационного вооружения*. М.: Из-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003. 484 с.

13. *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/> (дата обращения: 18.11.2018).

14. Приказ министра обороны Российской Федерации от 30 апреля 2007 года № 150 «Об утверждении Федеральных авиационных правил по штурманской службе государственной авиации». М.: ФГУП «12 центральная типография МО РФ». 88 с.

15. Производство и сопровождение эксплуатации средств автоматизированного планирования и подготовки полетных данных (заглавие с экрана) // НПО «Мобильные информационные системы». URL: https://www.npomis.ru/flight_data_systems_development (дата обращения 20.08.2019).

16. Приказ министра обороны Российской Федерации от 25 октября 2001 года № 431 «Об утверждении Федеральных авиационных правил по организации полигонной службы в государственной авиации».

17. *Мильграм Ю. Г., Попов И. С. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций*. М.: Издание ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1970. 500 с.

18. *Рыбалко А. Г., Ананьев А. В., Клевцов Р. П., Карбышева К. М. Специальное программное*

обеспечение «Система поддержки принятия решения ударных беспилотных летательных аппаратов «Пересвет». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019619663 от 22.07.2019 г.

19. *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.

20. *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. URL: http://www.trudy.mai.ru/upload/iblock/7b5/Ananayev_Rybalco_Goncharenko_Klevtsov_rus.pdf?lang=en&issue=107 (дата обращения 05.09.2019).

21. *Подшивалов В. П., Нестеренок М. С. Инженерная геодезия*. Минск: Высшая школа, 2011. 464 с.

22. *Ананьев А. В., Рыбалко А. Г., Гончаренко В. И. Рациональное распределение огневого воздействия свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов малого класса на основе теории рисков* // Известия Института инженерной физики. 2019. № 3 (53). С. 66–72.

23. *Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. Статистический анализ данных на компьютере / под ред. В. Э. Фигурнова*. М: ИНФРА-М, 1998. 528 с.

24. *Шевелина И. В. Автоматизированная обработка и анализ данных с использованием статистико-графической системы Statgraphics Plus for Windows*. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 58 с.

25. *Боевые авиационные комплексы и их эффективность / И. В. Арбузов, О. В. Болховитинов, О. В. Волочаев и др.: под ред. О. В. Болховитинова*. М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2008. 226 с.

26. *Кириллов В. И. Теория боевой эффективности и исследование операций. Ч. 2. Общие математические методы и основные задачи оценки эффективности боевых действий*. Момино, 1969. 276 с.

27. *Горлач Б. А. Теория вероятностей и математическая статистика*. СПб.: Лань, 2013. 320 с.

28. *Хрущева И. В., Щербаков В. И., Леванова Д. С. Основы математической статистики*

и теории случайных процессов. СПб.: Лань, 2009. 336 с.

29. ГОСТ 19.701–90 ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения ус-

ловные и правила выполнения. М.: Стандарт-информ, 2010. 23 с.

Поступила 04.04.19

Рыбалко Андрей Григорьевич – научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиации военно-воздушных сил) Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж.

Область научных интересов: теория боевой эффективности авиационных средств поражения и применение ударных беспилотных летательных аппаратов, разработка систем поддержки принятия решений.

Ананьев Александр Владиславович – кандидат технических наук, доцент кафедры Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж; старший научный сотрудник АО НПП «Полет», г. Нижний Новгород.

Область научных интересов: теоретические и практические исследования в областях межвидового применения авиации, системы и устройства информационного обмена беспилотных летательных аппаратов малого класса.

Лазорак Александр Викторович – начальник кафедры Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж.

Область научных интересов: организация боевого применения авиационных средств поражений авиационными комплексами оперативно-тактической и армейской авиации.

Клевцов Роман Петрович – преподаватель кафедры Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж.

Область научных интересов: боевая (штурманская) подготовка летного состава, воздушная навигация летательных аппаратов военного назначения.

Small-class UCAV required release determination software for ground target destruction

The study introduces special software which enables the increase in the efficiency of preparing source data and performing navigational calculations when planning the ground target impact effect of small-class unmanned air vehicles. We developed methods for measuring the coordinates of the impact points of the mock-up destruction means. As a result of integrating these methods, we managed to halve the time for determining the parameters of distribution of the overall mass mock-up destruction means of small class UCAV – free-falling uncontrolled containers, and also significantly increase the reliability of statistical data. The paper shows the unmanned combat air complex distribution patterns and accuracy characteristics obtained using the specified software during the factory tests which aimed at evaluating the accuracy of dumping the overall mass mock-up free-falling uncontrolled containers. The special software developed makes it possible to determine the required release of unmanned air vehicles and automate the preparation of reporting documentation.

Keywords: unmanned combat air vehicle, specialized software, statistical evaluation, distribution of weapons, target destruction efficiency, factory tests, free-falling uncontrolled container.

Rybalko Andrey Grigorievich – Researcher Fellow, the Research Center for the Application, Support and Control of Air Force Aviation, Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy” (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh.

Science research interests: theory of combat effectiveness of aviation weapons and use of unmanned combat air vehicles, development of decision support systems.

Ananiev Aleksandr Vladislavovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of a Department, Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy” (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh; Senior Research Fellow, Scientific and Production Enterprise “Polet”, Joint Stock Company, Nizhny Novgorod.

Science research interests: theoretical and practical research in the fields of joint-force application of aviation, small-class UCAV information exchange systems and devices.

Lazorak Aleksandr Viktorovich – Head of the Department, Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy” (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh.

Science research interests: management of combat use of air means of destruction by aviation complexes of operational-tactical and army aviation.

Klevtsov Roman Petrovich – Lecturer of a Department, Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy” (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Voronezh.

Science research interests: combat navigational training of flight personnel, air navigation of military aircraft.