

УДК 623.451:004.94

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСКОЛОЧНО-ФУГАСНЫХ СНАРЯДОВ

Е.А. Михайлов, С.С. Лапшин, Г.С. Чакрян (Санкт-Петербург)

Опыт современных военных конфликтов и последние научно-технические разработки во всем мире показывают, что беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали полноценными средствами вооружения и будут совершенствоваться, становясь более универсальными и эффективными. Поэтому разработка способов противодействия летательным аппаратам, в частности БПЛА, на сегодняшний день является актуальной задачей.

На текущем этапе все способы противодействия БПЛА подразделяют на три крупные группы [1]:

- маскировка для защиты от БПЛА (обман БПЛА);
- подавление каналов передачи данных БПЛА (радиоэлектронное подавление) и/или нарушение работы внутренней аппаратуры (электромагнитное поражение);
- механическое (физическое) уничтожение БПЛА средствами кинетического перехвата (дроны-перехватчики, сети, пули, дробь/картечь) и/или осколочными, фугасными, осколочно-фугасными средствами (ракеты, зенитные орудия).

Эксперты сходятся во мнении, что перспективный комплекс противодействия БПЛА будет являться комбинацией различных способов борьбы с данного вида техникой [2].

При решении задачи по противодействию БПЛА особое внимание следует уделить использованию осколочно-фугасных (ОФ) снарядов. Перспективность данного способа борьбы объясняется следующими причинами:

- техническая простота и массовость ОФ снарядов;
- соизмеримая стоимость ОФ снарядов и стоимость некоторых видов БПЛА;
- физическое уничтожение БПЛА осколочно-фугасным воздействием позволяет не учитывать перспективные автономность БПЛА и их неуязвимость для радиоэлектронных средств;
- наличие боевого опыта противодействия воздушным целям с использованием ОФ снарядов (зенитные орудия, снаряженные боеприпасами с часовыми механизмами, для борьбы с авиацией в войнах двадцатого века).

Помимо прочего, в открытых источниках на текущий момент времени отсутствует информация об исследованиях, связанных с противодействием БПЛА ОФ снарядами, в связи с чем представляется полезным решение задачи об оценке вероятности поражения БПЛА с использованием ОФ снарядов.

Целью данного исследования являлись разработка программного комплекса оценки вероятности поражения беспилотных летательных аппаратов ОФ снарядами и его верификация. Созданный программный комплекс может быть полезен на этапе разработки и проектирования систем противодействия БПЛА.

За основу исследования взята методология оценки эффективности осколочного действия ОФ снарядов, приведенная в практическом пособии [3]. В частности, в нем описываются математические модели и алгоритмы, используемые для оценки приведенной зоны осколочного поражения (ПЗОП).

Разработанный программный комплекс частично использует решения, принятые в [3], но результатом его работы является не оценка ПЗОП, а оценка вероятности поражения БПЛА. Математические модели, положенные в основу разработанного

программного комплекса, отличаются от таковых, описанных в [3], в следующих аспектах:

- введен расчет площади поверхности БПЛА, подверженной осколочному воздействию;
- введен расчет распределения осколочных поясов в трехмерном пространстве с учетом произвольного относительного пространственного расположения БПЛА и снаряда;
- при определении количества накрывающих цель осколочных поясов учитывается пространственная протяженность самой цели.

Каждое из введенных уточнений будет рассмотрено детально.

Расчет площади поверхности БПЛА, подверженной осколочному воздействию

При противодействии БПЛА (или другой воздушной цели) на вероятность поражения, кроме всего прочего, влияют пространственные расположения боеприпаса и БПЛА в момент подрыва.

Поставлена задача оценки площади, которая будет подвержена осколочному воздействию при подрыве боеприпаса в случайной точке пространства относительно БПЛА. Вводится допущение, что уязвимой площадью цели является площадь проекции цели на картинную плоскость (плоскость, которая видна наблюдателю, находящемуся в точке подрыва боеприпаса).

Картинную плоскость можно разместить на различном удалении от наблюдателя (боеприпаса), что повлияет на количество осколочных поясов, накрывающих цель (рисунок 1).

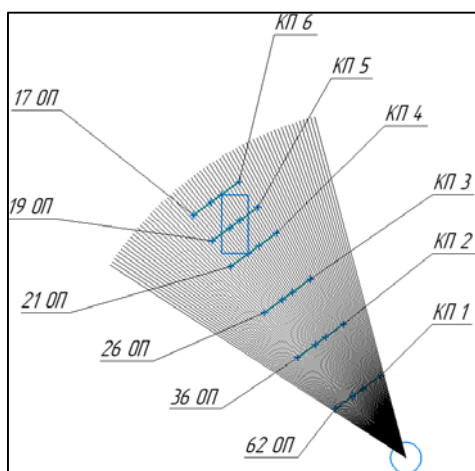


Рис. 1 – Зависимость числа осколочных поясов, накрывающих цель, от местоположения картинной плоскости

На рисунке 1 синей окружностью показан боеприпас, синим прямоугольником – цель, черными линиями обозначены границы осколочных поясов (ОП), зелеными – картинные плоскости (КП), крестиками обозначены характерные точки цели (проекции вершин прямоугольника).

Принято решение о размещении картинной плоскости за целью, поскольку при таком положении проекцию и цель накрывает одинаковое количество осколочных поясов. В таком случае картинная плоскость должна удовлетворять двум условиям:

- 1) картинная плоскость содержит точку цели, максимально удаленную от боеприпаса (наблюдателя);

2) линия, соединяющая геометрический центр (ГЦ) цели и центр тяжести (ЦТ) боеприпаса, перпендикулярна картинной плоскости.

Разработан алгоритм решения задачи, позволяющий определить уязвимую площадь БПЛА при обстреле осколочно-фугасным боеприпасом. В рамках данного алгоритма БПЛА аппроксимируется параллелепипедом, размеры сторон которого отражают пространственные габариты БПЛА, боеприпас представляет собой материальную точку.

Описание логики работы алгоритма по шагам:

- 1) поиск ГЦ параллелепипеда;
- 2) построение прямой между боеприпасом (материальной точкой) и ГЦ параллелепипеда;
- 3) построение плоскости, которая проходит через самую дальнюю от боеприпаса вершину параллелепипеда, при этом плоскость перпендикулярна прямой между ГЦ параллелепипеда и боеприпасом (материальной точкой);
- 4) проецирование параллелепипеда на полученную плоскость;
- 5) вычисление выпуклой оболочки проекции;
- 6) вычисление площади получившейся выпуклой оболочки.

В общем случае БПЛА и боеприпас произвольно ориентированы в пространстве, поэтому проекция параллелепипеда на картинную плоскость является многоугольником, для вычисления площади которого удобно использовать формулу Гаусса [4].

Расчет распределения осколочных поясов в трехмерном пространстве

Представление о распределении осколков в области разлета получают из статистических данных полигонных испытаний. При этом предполагается, что боеприпас – это материальная точка, от которой осколки разлетаются по прямолинейным траекториям [3].

Для снарядов классической формы в экваториальных плоскостях области разлета осколки распределяются симметрично относительно продольной оси снаряда, в меридиональных плоскостях – несимметрично [3]. Вся область разлета осколков условно делится на 19 конусов (см. рисунок 2).

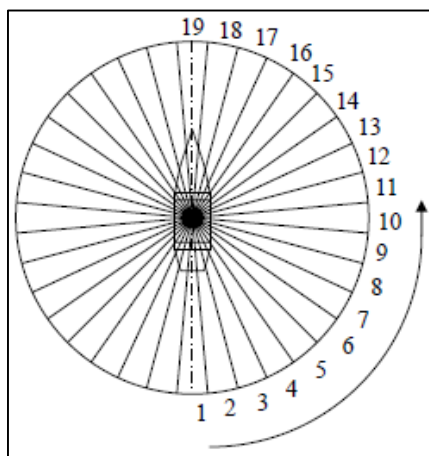


Рис. 2 – Пояса разлета осколков в плоскости симметрии снаряда [3]

Для наглядности разлета осколков в трехмерном пространстве создана 3D-модель, приведенная на рисунке 3.

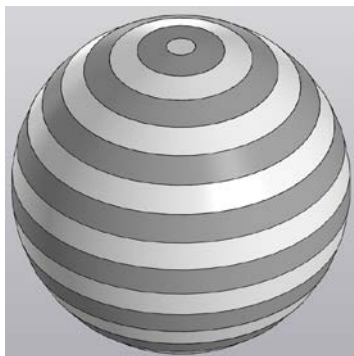


Рис. 3 – Пояса разлета осколков в трехмерном пространстве

При определении пояса осколков, накрывающего цель, используется сферическая система координат (СК), в которой ось симметрии боеприпаса совпадает с осью Z сферической СК (рисунок 4).

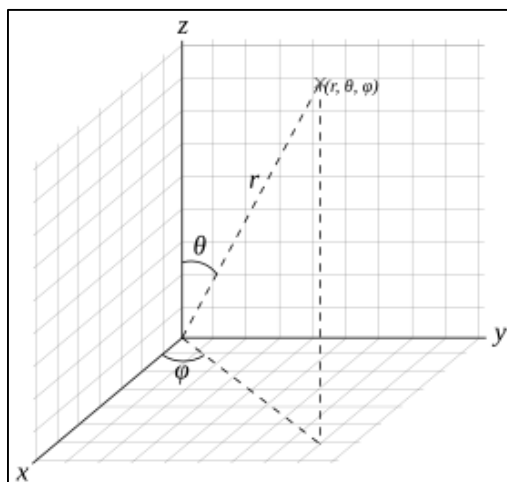


Рис. 4 – Описание сферической СК

В этой системе координат приняты следующие обозначения:

r – расстояние от начала координат до заданной точки,

θ – угол между осью z и отрезком, соединяющим начало координат и заданную точку (зенит),

φ – угол между осью x и проекцией отрезка, соединяющего начало координат с заданной точкой, на плоскость xu (азимут).

Направление движения боеприпаса совпадает с положительным направлением оси Z . В таком случае для определения накрывающего цель осколочного пояса достаточно вычислить угол зенит, в то время как значение угла азимут из-за осевой симметрии снаряда роли не играет (рисунок 5).

На рисунке 5 красным цветом показана ось X , зеленым – ось Y , синим – ось Z , а углы зенит и азимут обозначены желтым и оранжевым цветами соответственно.

Экспериментально установлено, какая доля осколков от их общего количества летит между каждой парой конических поверхностей. Средние статистические данные о распределении осколков в области разлета для снарядов классической формы приведены в [3]. На основании вышеизложенного разработан алгоритм, позволяющий определить

долю осколков, приходящихся на БПЛА (учитывается взаимное положение БПЛА и боеприпаса в пространстве).

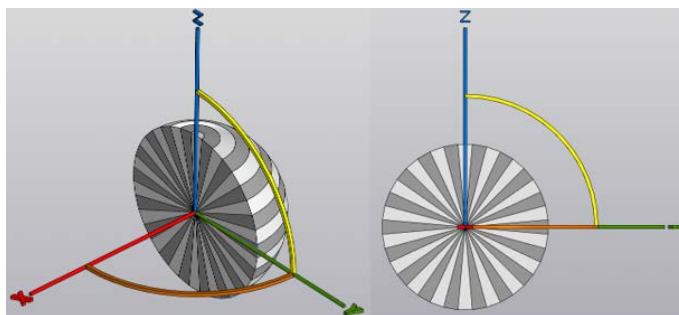


Рис. 5 – Связь сферической СК и поясов разлета осколков

Стоит отметить, что в отличие от приведенных в [3] математических моделей, в разработанном программном комплексе учитывается пространственная протяженность цели, влияющая на количество накрывающих цель осколочных поясов. Расчет осуществляется следующим образом:

- 1) после аппроксимации БПЛА параллелепипедом определяются крайние его точки относительно снаряда;
- 2) рассчитываются углы между направлениями на крайние точки и продольной осью снаряда, тем самым формируется сектор, занимаемый целью;
- 3) по рассчитанным углам осуществляется поиск номеров осколочных поясов, накрывающих направления на крайние точки;
- 4) формируется массив номеров осколочных поясов, накрывших цель, в который входят определенные на предыдущем шаге номера поясов, а также номера, лежащие между ними.

Работа с программным комплексом

Входными данными для работы программного комплекса являются геометрические характеристики БПЛА, удельная убойная энергия, достаточная для его уничтожения, характеристики снаряда, условия подрыва и расстояние между боеприпасом и целью.

Результаты работы программного комплекса зависят от числа выполняемых итераций. При выполнении одной итерации результатами работы является оценка вероятности поражения БПЛА, значение которой выводится в командном окне MATLAB, и изображение, на котором показаны положения снаряда и БПЛА в момент подрыва, пример приведен на рисунке 6.

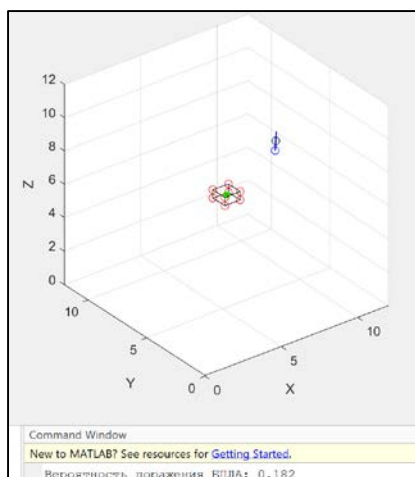


Рис. 6 – Результаты работы программного комплекса при выполнении одной итерации (фрагмент изображения из MATLAB)

Результатом работы программного комплекса при числе итераций, отличном от единицы, являются оценка математического ожидания вероятности поражения БПЛА, оценка среднеквадратичного отклонения, оценка доверительного интервала с заданным уровнем доверительной вероятности (значение всех величин также выводится в командном окне). При этом изображение с взаимным расположением БПЛА и снаряда не выводится.

По окончании разработки программного комплекса была произведена его верификация на основе примера расчета, приведенного в [3, с. 28-31]. Значение оценки вероятности поражения цели для набора условий и характеристик цели и снаряда, полученных при расчете в исходной программе [3], составляет 35 %. При расчете в разработанном программном комплексе при тех же исходных данных данная оценка составляет 35,86 %. Таким образом, отклонение результата составляет менее 1 %, что позволяет судить о приемлемой точности воспроизведения результатов исходной программы при тех же исходных данных и, как следствие, корректности математических моделей разработанного программного комплекса.

Выполнено исследование, позволяющее оценить вероятность поражения БПЛА как функцию расстояния между БПЛА и боеприпасом в момент подрыва для различных калибров боеприпасов. В таблице 1 приведены характеристики исследуемых боеприпасов.

Таблица 1 – Боеприпасы и их характеристики

Боеприпас	Характеристики
ОФ-540, применяется в гаубицах и пушках калибра 152 мм, таких как Д-1, МЛ-20, 2А65 «Мста-Б» [5, с. 225]	1) Калибр снаряда 152 мм; 2) Масса корпуса снаряда 43,56 кг; 3) Материал корпуса снаряда: Сталь марки 45; 4) Масса взрывчатого вещества (ВВ) 6,86 кг; 5) ВВ: Тротил.
ОФ-462, применяется в орудиях калибра 122 мм, таких как гаубица М-30 и пушка Д-30 [5, с. 184]	1) Калибр снаряда 122 мм; 2) Масса корпуса снаряда 21,76 кг; 3) Материал корпуса снаряда: Сталь марки 40Х; 4) Масса ВВ снаряда: 3,67 кг; 5) ВВ: Тротил.

Боеприпас	Характеристики
ОФ-412, применяется в пушках калибра 100 мм, таких как пушка БС-3 и пушка Д-10Т [5, с. 142]	1) Калибр снаряда 100 мм; 2) Масса корпуса снаряда 14,3 кг; 3) Материал корпуса снаряда: Сталь марки 45; 4) Масса ВВ снаряда 1,46 кг; 5) ВВ: Тротил.
О-365К, применяется в пушках и танковых орудиях калибра 85 мм, таких как пушка Д-44 и танковая пушка ЗИС-С-53 [5, с. 102]	1) Калибр снаряда 85 мм; 2) Масса корпуса снаряда 9,54 кг; 3) Материал корпуса снаряда: Сталь марки 45; 4) Масса ВВ снаряда 0,74 кг; 5) ВВ: Тротил.
О-350А, применяется в 76-мм дивизионных пушках ЗИС-3, Ф-22, а также в танковых пушках Ф-34 [5, с. 75]	1) Калибр снаряда 76 мм; 2) Масса корпуса снаряда 6,2 кг; 3) Материал корпуса снаряда: Сталь марки 45; 4) Масса ВВ снаряда 0,62 кг; 5) ВВ: Тротил.
ВОГ-17, предназначен для автоматического гранатомета АГС-17 «Пламя», применяется также и в других гранатометах калибра 30 мм [6]	1) Калибр снаряда 30 мм; 2) Масса корпуса снаряда 0,275 кг; 3) Материал корпуса снаряда: Сталь марки 50; 4) Масса ВВ снаряда 0,036 кг; 5) ВВ: Тротил.
ОФЗ-23, применяется в 23-мм автоматических пушках, таких как АА-23 (или 2А7), а также в некоторых зенитных установках и самолетах [7]	1) Калибр снаряда 23 мм; 2) Масса корпуса снаряда 0,28 кг; 3) Материал корпуса снаряда: Сталь марки 40Х; 4) Масса ВВ снаряда: 0,037 кг; 5) ВВ: Тротил.

В таблице 2 приведены прочие исходные данные, принятые в исследовании.

Таблица 2 – Исходные данные для работы программного комплекса

Величина	Значение
Удельная убойная энергия БПЛА	5 МДж/м ²
Скорость движения боеприпаса в момент подрыва	343 м/с
Геометрические размеры БПЛА (длина, ширина, высота)	1 м, 1 м, 0,5 м
Число итераций	1000
Доверительная вероятность для построения доверительного интервала	0,95

Исследование заключается в расчете оценки вероятности поражения БПЛА как функции расстояния между БПЛА и боеприпасом в момент подрыва последнего. Используемые для расчета расстояния приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расстояния, варьируемые в исследовании

Расстояния между БПЛА и боеприпасом в момент подрыва, м														
11	12	13	14	15	16	17	18	19	110	111	112	113	114	115

Для каждого значения расстояния при помощи программного комплекса получена соответствующая оценка вероятности поражения. Для большей наглядности полученные результаты оформлены в виде графиков, построенных в программе Excel (см. рисунки 7 – 13).

Как видно из графиков, вероятность поражения БПЛА ОФ снарядом имеет тенденцию к снижению с увеличением расстояния между ними, что отражает реальный процесс снижения поражающего воздействия боеприпаса при удалении его от цели. Данное обстоятельство служит дополнительным подтверждением адекватности применяемых в программном комплексе математических моделей.

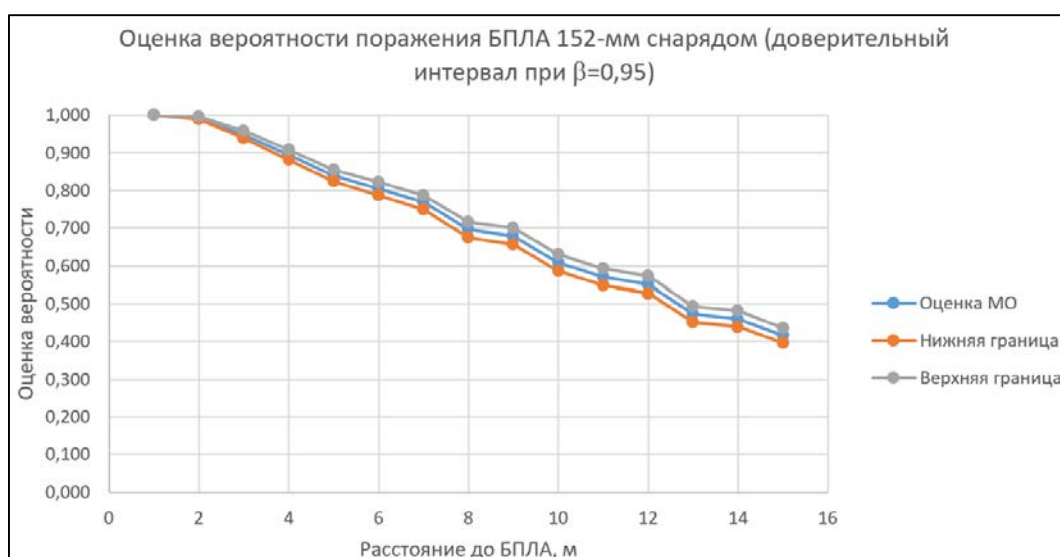


Рис. 7 – Результаты исследования для 152-мм снаряда

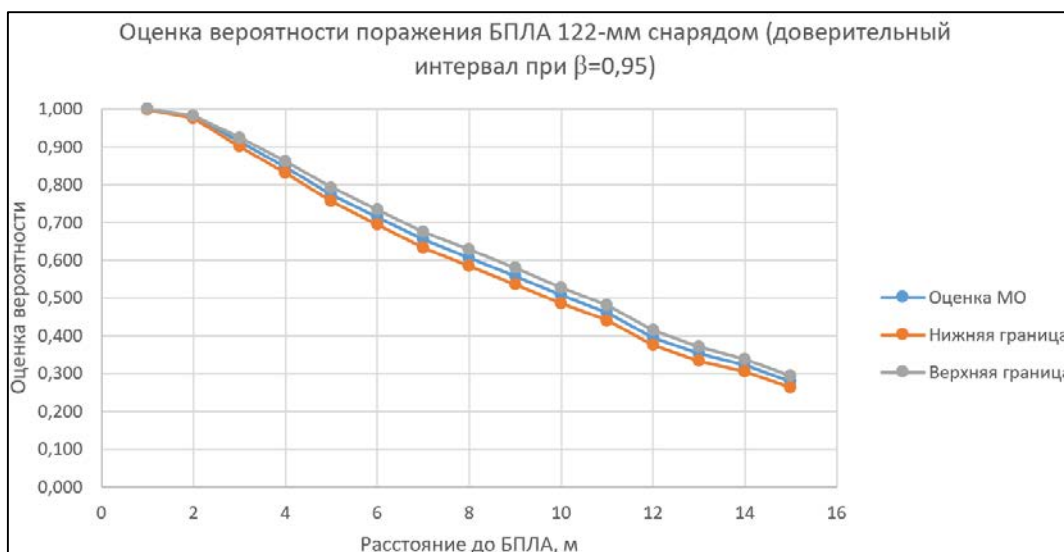


Рис. 8 – Результаты исследования для 122-мм снаряда

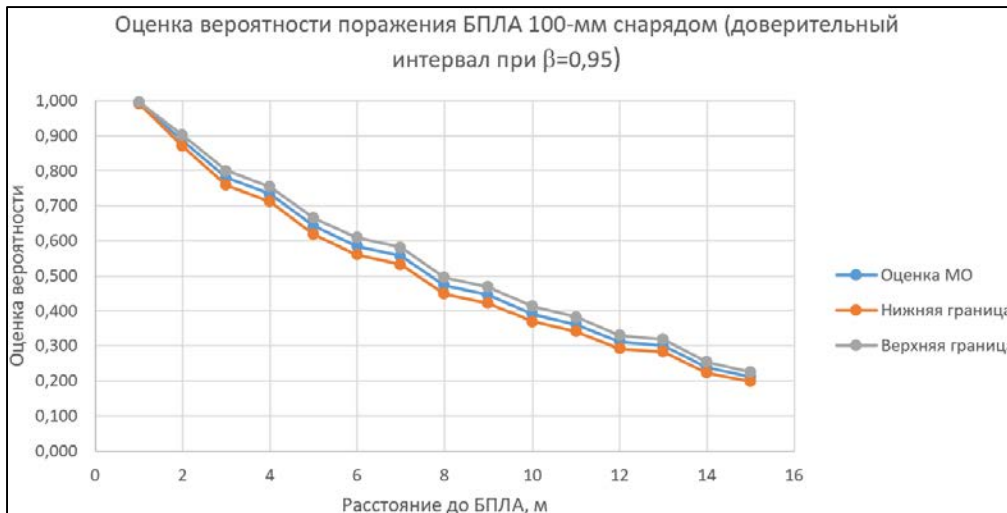


Рис. 9 – Результаты исследования для 100-мм снаряда

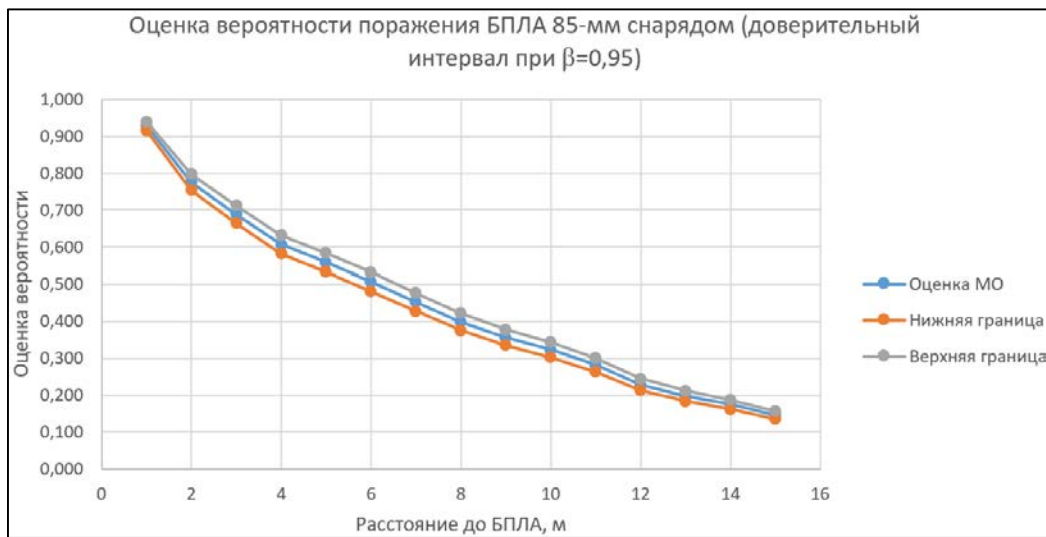


Рис. 10 – Результаты исследования для 85-мм снаряда

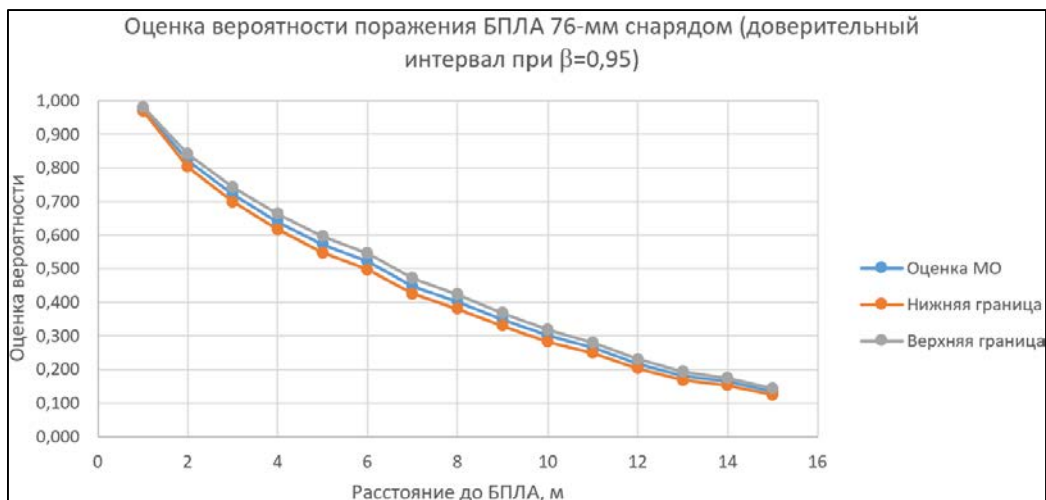


Рис. 11 – Результаты исследования для 76-мм снаряда

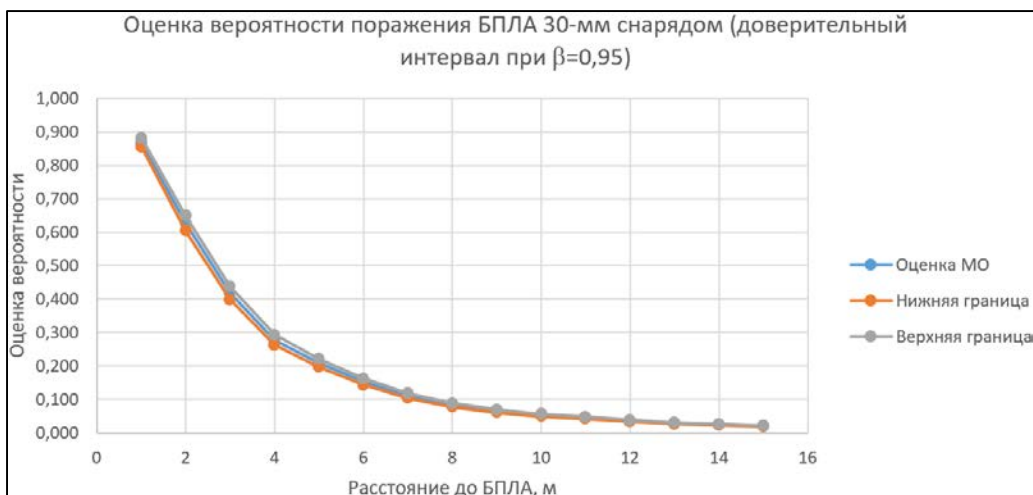


Рис. 12 – Результаты исследования для 30-мм снаряда

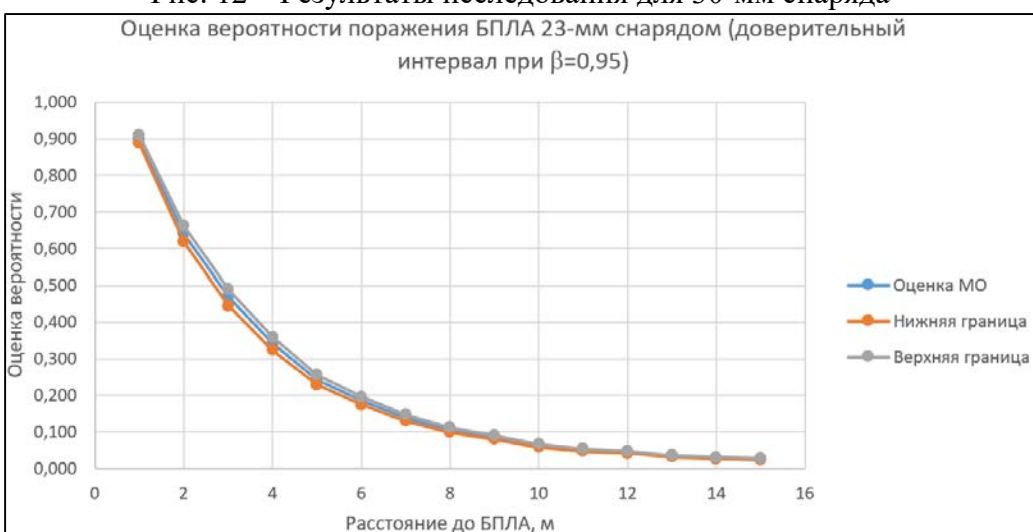


Рис. 13 – Результаты исследования для 23-мм снаряда

В рамках проделанной работы создан программный комплекс по оценке вероятности поражения ЛА (БПЛА) ОФ снарядом, достоверность получаемых на основе его применения решений подтверждена путем сопоставления результатов исходной программы [3] с результатами работы программного комплекса при идентичных входных данных. Погрешность получаемых результатов является приемлемой и составляет менее 1 %.

Научная новизна работы заключается в адаптации существующей методики оценки вероятности поражения наземных целей осколочно-фугасными снарядами для условий поражения воздушных целей с учетом допущений, принятых в исходной методике, а также разработке программного комплекса, реализующего адаптированную методику.

Разработанный программный комплекс является заделом для дальнейших исследований и разработок, позволяет оценивать перспективы принятия инженерных решений на стадии разработки и проектирования систем противодействия ЛА (БПЛА).

Литература

- 1 **Li Linli, Cheng Qi, Zhang Li, et al** Summary of research status of anti UAB technology [J] Cruise missile, 2021 (11): p. 25-32.

- 2 **Тикшаев В.Н., Барвиненко В.В.** Проблема борьбы с беспилотными летательными аппаратами и возможные пути ее решения, Военная мысль №1, 2021, с. 125-132.
- 3 **Никулин Е.Н., Сергеев Е.Н.** Оценка эффективности осколочного действия осколочно-фугасных снарядов: практическое пособие, Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2007. – 32с.
- 4 **Мастерство и спонтанность. Алгоритмы. Нахождение площади многоугольника по формуле Гаусса. RUTUBE. – URL: <https://rutube.ru/video/257af101bbd136ea791ffdf5f69bb708/> (дата обр.: 22.08.2024).**
- 5 **Гуревич М.В., Липатов М.И., Сосновский И.Р.** Артиллерийские снаряды и мины. Описание и свойства, Воениздат, 1973.
- 6 **Лебедев В.А., Жданов А.В.** Современные артиллерийские снаряды и мины, Машиностроение, 1990, с. 312.
- 7 **Куликов И.Н., Попов В.С.** Артиллерийский снаряды и боеприпасы. Описание и конструкция, Воениздат, 1980, с. 98.