

**Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский центр «Охрана»
Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации**

**«О некоторых вопросах организации полигонных
испытаний систем определения и подавления
БПЛА»**

**Доклад
Михайлова Алексея Алексеевича
научного сотрудника ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии**

Общие принципы проведения испытаний

1. Испытания должны проводиться в повторяемых условиях.

Место испытаний должно иметь ровную поверхность без густой растительности. При проведении испытаний необходимо иметь длину полигона в 2-3 км.

2. Испытания проводятся при нормальных погодных условиях (по возможности).

В противном случае эти условия должны отражаться в протоколе испытаний и учитываться при их оценке.

3. Должна обеспечиваться повторяемость измерений. Данное требование накладывает свои ограничения на уровень электромагнитных помех (желательный уровень помех в диапазонах работы каналов управления и передачи данных БВС не должен превышать 10 мкВ).

4. Испытания должны проводиться по единой методике измерений.

5. В качестве тестовых БВС должны применяться однотипные аппараты с идентичной «прошивкой» программного обеспечения.

В этом пункте мы вступаем в противоречие между необходимостью получения однотипности измерений и повторяемости результатов и необходимостью проводить тестирование на серийных БВС максимально устойчивых к воздействию КТСР. Так, например, если один тип КТСР испытывался с БВС «DJI Phantom 4» то и следующая модель КТСР должна испытываться с аналогичным БВС. Однако при этом не факт, что эти КТСР будут эффективны против БВС «Autel EVO Max 4T» или БВС «DJI Mavic 3» с прошивками семейства 1001. Поэтому для оценки эффективности нового КТСР по сравнению с уже испытанными КТСР надо использовать идентичные БВС, а для оценки эффективности подавления современных БВС необходимо использовать БВС, обладающие наибольшей устойчивостью к средствам РЭБ на текущий момент, (на настоящий момент таким БВС малого мультироторного класса является «Autel EVO Max 4T»).

В протоколе фиксируется тип БВС и его основные ТТХ.

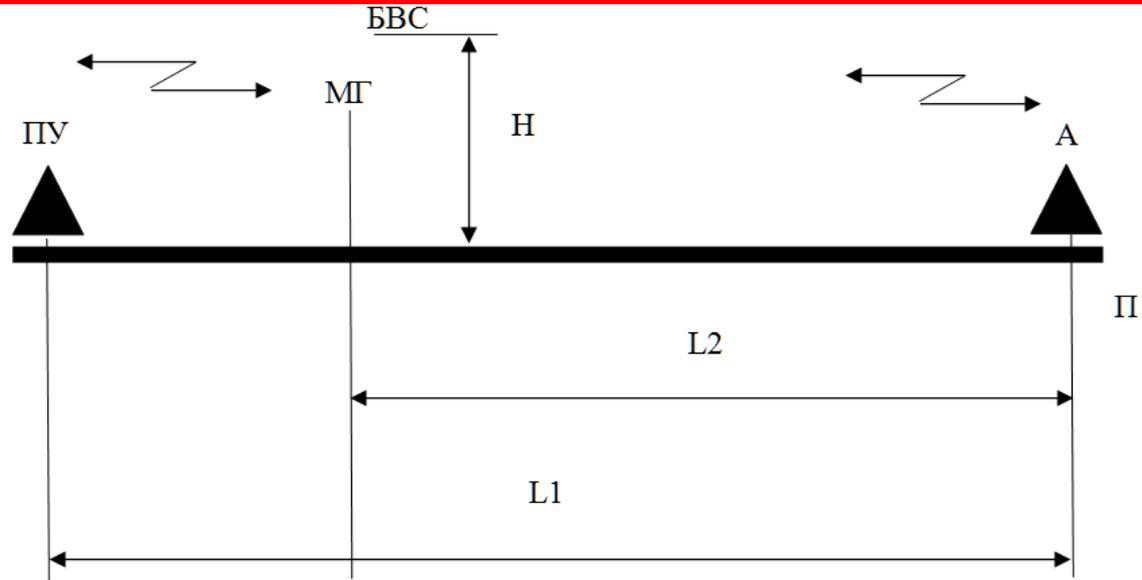
Типы специальных технических средства обнаружения и противодействия БВС и комплексы на их основе

(далее — СТСП и КСТСП БВС)

- носимые
- мобильные
- быстроразвертываемые
- стационарные (объектовые)

При общих задачах, условия их применения, их практические функциональные возможности по обнаружению и противодействию БВС, а также методики испытаний сильно различаются.

Типовая схема испытаний СТСП



Где:

П – подстилающая поверхность, полигона;

А – антидроновое ружьё;

МГ – метка границы блокирования сигналов;

ПУ – пульт управления БВС;

Н – высота БВС над над П;

L1 – расстояние от А до ПУ;

L2 – расстояние от БВС до А

Методика проведения испытаний носимых СТСП БВС

Расстояние от антидроновоего ружья до ПУ БВС по прямой рекомендуется устанавливать в два раза большим по сравнению с максимальной заявленной дальностью действия СТСП БВС, например при заявленной дальности действия 1000 м, рекомендуемая дальность расположения ПУ БВС — $2000 \text{ м} \pm 5 \%$. Испытания начинаются с подъема БВС в воздух и занятия высоты (эшелона) прохождения маршрута (от 2 м до 100 м).

Полет осуществляется в режима, позволяющем обеспечить уверенный контроль БВС при потере сигналов в каналах навигации.

Примечание. Минимальную высоту полета выбирают, исходя из обеспечения безопасности проведения испытаний с учетом предполагаемой угрозы падения БВС, при возможных ошибках, совершенных оператором при пилотировании. Обычно выбирается средняя высота полета в 30 м. После чего повторно проводятся испытания на высоте 100 м.

Методика проведения испытаний носимых СТСП БВС (продолжение)

Примечание. Антидроновое ружьё должно быть установлено на штатив и ориентировано по направлению взлета БВС. Правильную ориентацию антидронового ружья можно обеспечить или выставлением его по азимуту и углу места (поскольку мы знаем дистанцию и высоту полета БВС), или путем визуального наблюдения БВС через оптический прицел антидронового ружья (при его наличии на ружье). Поскольку некоторые антидроновые ружья имеют антенны с узкой диаграммой направленности, ошибка в наведении его на БВС или сопровождения БВС во время полета, может приводить к ошибкам определения дистанции подавления и достоверности результатов испытаний.

Измерение дистанции подавления определяется с помощью показаний с пульта управления БВС, дополнительно может применяться лазерный дальномер и приемники глобальных навигационных спутниковых систем (далее — ГНСС), встроенных в смартфоны.

При дополнительных испытаниях антидронового ружья необходимо убедиться, что оно может подавлять БВС не менее 45 мин., (допускается снижение мощности излучения при разряде АКБ не более чем на 30%)

Методика проведения испытаний носимых СТСП БВС

Примечание. При отсутствии полигона требуемых размеров допускается проводить испытания на полигоне меньших размеров, проводя пересчет полученных результатов (интерполяцию) к запуску на расстояние 2000 м. с большой долей точности можно считать, что интенсивность убывания мощности радиосигнала обратно пропорционально квадрату расстояния, в соответствии с формулой Введенского (1).

$$E = 2,18 \frac{\sqrt{P_{\text{ИЗЛ}} \times G_{\text{ПЕР}} \times h1 \times h2 \times k}}{\lambda r^2} \quad (1)$$

где:

E -действующее значение напряженности поля, мВ/м;

r -длина трассы связи в км;

λ -длина рабочей волны передатчика в метрах;

$P_{\text{изл}}$ -мощность передатчика в киловатах;

$G_{\text{пер}}$ - коэффициент усиления передающей антенны;

$h1, h2$ - высота подвеса передающей и приемных антенн в метрах.

k -поправочный коэффициент, учитывающий среду распространения, лежит в пределах 0,2-0,4

Средства противодействия БВС

Рассмотрим данный расчет для двух случаев.

Полученные данные на полигоне №1

Исходные данные:

1. Длина полигона — 2000 м;

2. Дистанция между пультом управления БВС и самим БВС, при которой произошло подавление — 500 м.

3. Тогда дистанция между БВС и антидроновым ружьем — 1500 м.

Тогда соотношение напряженностей полей будут обратно пропорционально квадрату расстояний.

E пульта управления/ E помехи антидронового ружья = $(1500)^2/(500)^2 = 2250000/250000 = 9$.

Полученные данные на полигоне №2

Исходные данные:

1. Длина полигона — 1000 м;

2. Дистанция между пультом управления БВС и самим БВС при которой произошло подавление — 400 м.

3. Тогда дистанция между БВС и антидроновым ружьем — 600 м.

E пульта управления/ E помехи антидронового ружья = $(600)^2/(400)^2 = 360000/160000 = 2,25$.

Таким образом, подавление на полигоне №2 произошло при соотношении сигнал/шум в 2,25 а на полигоне №1 — при соотношении сигнал/шум в 9.

Отношение этих величин $9/2,25 = 4$.

Таким образом, при использовании одинаковой стандартной цели можно сделать вывод, что СТСП БВС, испытанное на полигоне №1 эффективней СТСП БВС, испытанного на полигоне №2.

Особенности проведения испытаний мобильных, быстроразвертываемых, а также стационарных СТСП БВС и комплексов на их основе

Для испытаний мобильных, быстроразвертываемых КСТСП БВС, а также предварительных испытаний стационарных КСТСП БВС целесообразно подходить аналогичным рассмотренному для носимых СТСП БВС

Для стационарных КСТСП БВС испытания обнаружения и подавление БВС необходимо проводить последовательно на верхнем (как правило — 500 м), среднем (половина от максимальной высоты — около 300 м) и минимальном заявляемом производителем (30-70 м) высотном диапазоне.

Дальность запуска БВС определяется для каждого средства обнаружения, входящих в состав комплекса индивидуально, по аналогии с расчетом для носимых СТСП БВС, но при максимальной дальности от ПУ БВС — 8000 м.

Методика испытаний РЛС, входящих в состав КТСР БВС

Испытания проводятся при нормальных погодных условиях Уровень шума фиксируется в протоколе испытаний.

Методика испытаний для БВС мультироторного типа в режиме зависания.

БВС осуществляет:

- вертикальный взлет на заявленной предельной дальности действия КТСР минус 100 м;
- зависание на высоте $10 \pm 10\%$ м, далее осуществляется подъем БВС с шагом $10 \pm 10\%$ м до высоты $100 \pm 10\%$ м. Высота обнаружения фиксируется в протоколе.

При отсутствии обнаружения БВС дистанция уменьшается с шагом $100 \pm 10\%$ м, до получения положительного результата.

Определение возможности КТСР фиксировать БВС в режиме минимальной скорости движения.

БВС осуществляет:

- набор максимальной высоты, обнаружение на которой обеспечивает КТСР БВС и поддерживаемой БВС и осуществляет движение в сторону КТСР с приборной скоростью $1 \pm 10\%$ м/с.

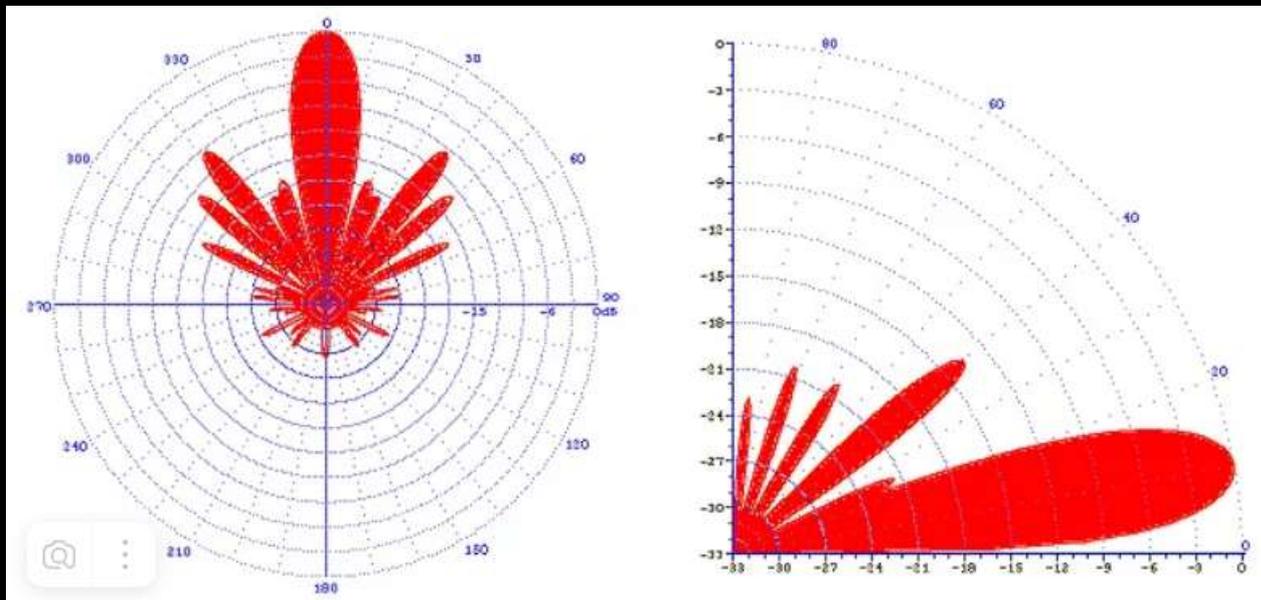
Примечание. При отсутствии БВС осуществлять движение со скоростью 1 м/с, БВС осуществляет движение с минимально возможной скоростью движения с обязательной фиксацией этой скорости в протоколе испытаний.

При отсутствии обнаружения БВС, БВС возвращается в исходную точку и повторяет движение со скоростью превышающей изначальную на 1 м/с, повторяя процедуру до момента обнаружения его РЛС КТСР БВС.

Аналогично проводятся проверка возможности обнаружения БВС на минимальной высоте, при данных испытаниях необходимо визуально убедиться в отсутствии препятствий на траектории полета.

Методика испытаний РЛС, входящих в состав КСТСП БВС

Низковысотный полет БВС наиболее сложен для его обнаружения РЛС из-за переотражения радиосигнала от подстилающей поверхности и высокостоящих зданий. Дистанция обнаружения БВС может быть в разы меньше чем в «свободном пространстве».



Типовая диаграмма направленности низковысотной РЛС

Средства противодействия БВС

Определение возможности КСТСП фиксировать БВС в режиме максимальной скорости движения

Осуществляется аналогично п.2, но при максимальной скорости движения БВС, при возможности до 70 м/с.

Примечание. При отсутствии БВС осуществлять движение со скоростью 70 м/с, БВС осуществляет движение с максимальной возможной скоростью движения с обязательной фиксацией этой скорости в протоколе испытаний.

Определение возможности КСТСП фиксировать БВС мультироторного типа в режиме движения с перерывом.

- перевести БВС на высоту полета в 50 ± 10 м и осуществить движение в направлении КСТСП с высокой скоростью рывками по 200 ± 50 м с интервалом (зависанием) между рывками 1,5-2 минуты.

- зафиксировать дистанцию обнаружения БВС КСТСП.

Методика испытаний для БВС самолетного типа

Для определения возможности обнаружения малых БВС самолетного типа КТСП БВС необходимо проводить следующие проверки по методикам аналогичным БВС мультироторного типа аналогичным методикам:

- максимальной высоте с максимальной скоростью прямолинейно;
- максимальной высоте с максимальной скоростью "змейкой";
- на высоте $50 \pm 10\%$ м с максимальной скоростью прямолинейно;
- на высоте $50 \pm 10\%$ м с максимальной скоростью "змейкой".

Примечание. При проведении первоначальной калибровки РЛС (определения уровня радиоэлектронных помех на местности) средства радиоэлектронной борьбы КТСПС БВС должны быть выключены, иначе может произойти загробление чувствительности РЛС.

Обработка результатов испытаний

Для того, чтобы убедиться в повторяемости результатов испытаний надо провести не менее 3 измерений.

Желательно указать погрешность и доверительный интервал.

Если получили среднеарифметическое значение расстояния в 1280 м, то то правильно привести результат в следующей записи.

$$L_2 = (1280 \pm 146), (P = 0.95)$$

Это означает, что с вероятностью равной 0.95, реальное значение расстояния лежит в диапазоне от 1134 до 1426 м.

Для вычисления абсолютной ошибки при ограниченном количестве испытаний применяется коэффициент Стьюдента t . Значение коэффициентов Стьюдента носят табличный характер.