

УДК 621.396.677

Г.В. Ермаков, С.Н. Власик

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БОЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РТС БЛОКИРОВАНИЯ И РТС ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОВЗРЫВАТЕЛЕЙ

Предложен метод оценки боевой эффективности РТС для противодействия радиолиниям управления взрывными устройствами (РУВУ), проведен количественный расчет вероятности правильного определения характеристик РУВУ, вероятности своевременного начала работы РТС специального назначения при движении колонны автотехники и вероятности блокирования (поражения) объекта с учётом надёжности работы элементов комплекса и противодействия противника. Проведен сравнительный анализ боевой эффективности РТС блокирования РУВУ и сверхширокополосной РТС для функционального поражения РУВУ.

Ключевые слова: боевая эффективность, вероятность выполнения боевой задачи, вероятность блокирования.

Введение

Анализ литературы. Запрет на срабатывание радиоуправляемого взрывного устройства возможен двумя путями: постановка узкополосной помехи для подавления полезного сигнала путем уменьшения отношения сигнал/помеха в приемном тракте радиовзрывателя при использовании всенаправленных антенн [1] или использование короткоимпульсного сверхширокополосного (СШП) сигнала в виде заградительной помехи для функционального поражения (ФП) радиоэлементов взрывателя при использовании остронаправленных антенн. В первом и во втором случаях физическая природа подавления различна. Однако в любом случае факторы, влияющие на боевую эффективность РТС подавления (поражения) РУВУ, могут быть разделены на детерминированные, случайные и неопределённые.

К детерминированным факторам можно отнести порядок движения защищаемой колонны автотехники, мощность передатчика помех, мощность, необходимая для деградации радиоэлементов, диапазон используемых частот, направленные характеристики антенны. К случайным факторам относятся частота, на которой работает радиовзрыватель, дальность действия РУВУ, трасса распространения, тип и поляризация приемной антенны, принимаемая приемной антенной мощность при использовании радиоподавления с учетом переотражений от самой бронетехники и поверхности Земли и т.п. К неопределённым факторам можно отнести тип приемного устройства радиовзрывателя, глубину его залегания, а также человеческий фактор.

Цель оценки эффективности подавления (поражения) радиовзрывателя состоит в прогнозировании ожидаемого результата, определении степени влияния каждого фактора, отборе из них управляемых, то есть таких, которые зависят от действий командира и боевого расчёта, отыскании оптимальных действий и решении других практически важных вопросов.

Частными задачами оценки эффективности могут быть: определение числовых характеристик законов распределения случайных величин, влияющих на результат подавления (поражения) РУВУ; определение вероятности того, что в результате воздействия прицельной или заградительной помехи при заданном отношении сигнал/помеха радиовзрыватель будет выведен из строя кратковременно или постоянно. Возможно также определение вероятностных показателей поражения при использовании одиночных импульсов или последовательностей импульсов. Поэтому **целью статьи** является определение вероятностного коэффициента эффективности для проведения сравнительного анализа боевой эффективности РТС блокирования РУВУ СШП РТС ФП РУВУ.

Основная часть

Решение задачи оценки эффективности начинается с выбора соответствующих показателей эффективности.

Показатель подавления (поражения) радиовзрывателя на определенном расстоянии должен строго соответствовать содержанию задачи противодействия РУВУ. С этой точки зрения можно выделить два типа задач. Первый – когда необходимо достичь определённого результата. Второй – когда этот результат требуется уменьшить или увеличить. В задачах первого типа в качестве показателя эффективности обычно выбирают вероятность наступления интересующего нас события (вероятность поражения РУВУ серией из n импульсов, вероятность подавления РУВУ при определенном отношении сигнал/помеха), в задачах второго типа – математическое ожидание достижения некоторого результата (числа обнаруженных или пораженных РУВУ, поставленных задач на подавление и т. д.).

Процесс выбора показателя эффективности зависит главным образом от содержания поставленных задач, которые должны быть выполнимыми и сохранять резерв для выполнения последующих задач.

Задачи подавления (поражения) радиоуправляемого взрывателя могут быть сформулированы следующим образом:

- уничтожить приемный тракт радиовзрывателя путем его ФП на пути движения колонны автомобильной или гусеничной техники;
- временно заблокировать приемник радиовзрывателя путем постановки прицельной по частоте помехи на пути движения колонны автомобильной или гусеничной техники;
- обеспечить сохранение не менее требуемой доли прикрываемых войск с вероятностью не менее заданной;
- предотвратить не менее заданной доли ущерба, который противник может нанести прикрываемой колонне;
- предотвратить поражение противником конкретных элементов боевого порядка прикрываемой колонны.

Каждой из перечисленных задач соответствует свой показатель эффективности. Все показатели можно разделить на три группы.

Первая группа – показатели, выражающие ущерб, наносимый противнику:

- вероятность подавления (поражения) РУВУ за цикл работы РТС специального назначения (вероятность выполнения боевой задачи);
- вероятность поражения РУВУ серией из n импульсов;
- вероятность подавления РУВУ при определенном отношении сигнал/помеха;
- математическое ожидание числа подавленных или пораженных РУВУ.

Вторая группа – показатели, выражающие предотвращенный ущерб прикрываемой колонне:

- математическое ожидание предотвращенного ущерба в результате поражения или блокирования РУВУ;
- вероятность сохранения элементов боевого порядка колонны автотехники.

Третья группа – экономические показатели эффективности:

- отношение стоимости предотвращенного ущерба к стоимости РТС специального назначения.

В качестве критерия для оценки эффективности применения РТС специального назначения для блокирования (ФП) РУВУ можно использовать отношение вероятности блокирования РУВУ узкополосными помехами для подавления полезного сигнала путем уменьшения отношения сигнал/помеха в приемном тракте радиовзрывателя при использовании всенаправленных антенн к вероятности функционального поражения радиоэлементов приемного тракта РУВУ последовательностями СШП сигналов при использовании остронаправленных антенн.

Обоснование показателя боевой эффективности РТС специального назначения. В качестве показателя боевой эффективности РТС специального назначения выберем по аналогии с показателем эффек-

тивности, используемым для оценки уничтоженных объектов при стрельбе ЗРК, вероятность выполнения боевой задачи $P_{бз}$, состоящей в блокировании работы РУВУ или функционального поражения радиоэлементов приемного тракта радиовзрывателя, при расчёте которой учитываются:

- вероятность правильного определения характеристик РУВУ (рабочая длина волны, тип приемного устройства, место залегания фугаса) по данным войсковой разведки или автономно – $P_{опр}$;
- вероятность своевременного начала работы РТС специального назначения – $P_{нр}$;
- вероятность блокирования (поражения) объекта с учётом надёжности работы элементов комплекса и противодействия противника $R_б$.

Вероятность выполнения боевой задачи РТС специального назначения будем рассчитывать по формуле:

$$P_{бз} = P_{опр} \cdot P_{нр} \cdot R_б. \quad (1)$$

Правильное определение характеристик РУВУ носит вероятностный характер. Следует ожидать, что в этом случае полная группа событий представляет собой набор двух событий: правильное определение характеристик РУВУ либо неопределение характеристик. То же самое можно сказать и о месте закладки фугаса. Предположим, что вероятность правильного определения характеристик РУВУ зависит от типа РТС. Так, при использовании РТС ФП РУВУ с антеннами, имеющими круговую поляризацию, при применении заградительной помехи при внутрисполосном воздействии рабочая частота радиовзрывателя во внимание не принимается, поэтому положим $P_{опр}=1$. В РТС блокирования РУВУ типа "Родиола", "Бакай" используется антенна с линейной (вертикальной) поляризацией. Кроме этого, для диапазона частот 100÷300 МГц используется штыревая антенна со своим усилителем. Перечисленные факты позволяют предположить, что в данном случае $P_{опр}=0,5$.

Вероятность своевременного начала работы РТС специального назначения $P_{нр}$ обуславливается скоростью движения колонны, шириной диаграммы направленности (ДН) антенной системы при ФП РУВУ, величиной области "тени" при наезде подвижной РТС блокирования РУВУ на место расположения радиовзрывателя и временем, затрачиваемым на излучение последовательности импульсов.

Предположим, что ширина ДН антенных систем (всенаправленной для блокирования и остронаправленной для ФП) в азимутальной плоскости для двух рассматриваемых систем блокирования и функционального поражения одинакова и превышает ширину автотрассы, длительность излучаемой последовательности импульсов также одинакова и равна $T_{п}=100$ мс. Следовательно, вероятность своевременного начала работы РТС специального назначения $P_{нр}$ будет зависеть от размера области "тени", появляющейся вследствие наезда транспортно-

го средства, на котором расположена РТС специального назначения, на место залегания фугаса.

Отметим, что в силу рассматриваемой задачи, наличие области "тени" характерно только в случае применения РТС блокирования РУВУ, причем при скорости движения колонны со скоростью $V=10$ м/с и длине базы автомобиля с РТС блокирования РУВУ $l=4$ м, время, соответствующее проезду "тени" соответствует $t_r=0,4$ с. При использовании СШП РТС для ФП РУВУ область "тени" отсутствует.

Таким образом можно предположить, что $P_{np}=1$ в случае использования СШП РТС ФП и $P_{np}=T_n/t_r=0,1/0,5=0,25$ в случае блокирования РУВУ.

Оценка вероятности блокирования (поражения) объекта с учётом надёжности работы элементов комплекса и противодействия противника. Блокирование приемного тракта РУВУ зависит от мощности помехи (последовательности узкополосных сигналов) на входе приемного тракта с учетом переотражений от бронетехники и поверхности Земли. Функциональное поражение радиовзрывателя последовательностью СШП сигналов может осуществляться как при внеполосном (через технологические щели), так и при внутрисполосном (через антенну) воздействии и также зависит от мощности принимаемого сигнала. В обоих случаях осуществляется накопление ущерба. В широком смысле в теории управления стрельбой под этим термином понимается явление, состоящее в поражении цели при совместном действии двух или более попавших в нее снарядов, ни один из которых в отдельности поразить цель не может. Учет этого фактора значительно усложняет расчеты. Поэтому прибегают к делению цели на уязвимые и неуязвимые агрегаты. При попадании хотя бы одного снаряда в уязвимый агрегат цель поражается, при попадании в неуязвимые агрегаты – не поражается. Учитывая, что рассматривается только внутрисполосное подавление, при рассмотрении факта блокирования (поражения) РУВУ под уязвимым агрегатом будем понимать вход приемного устройства (место подключения антенны к радиовзрывателю).

При сделанных допущениях можно найти вероятность того, что электромагнитный импульс (ЭМИ) попадет в уязвимый агрегат, при условии, что он попал в цель. Эта вероятность определяется по формуле: $P_1=S_1/S$ (здесь S_1 , S – площади уязвимого агрегата и цели). В данном случае также необходимо учитывать значение энергетического потенциала $P_{изл}G(\varphi)$, который будет определяться азимутом расположения взрывателя в случае применения СШП РТС для поражения РУВУ. Предположим, что с учетом линейных размеров антенны радиовзрывателя $P_1=0,2$.

Закон поражения цели в этом случае называется экспоненциальным и имеет вид:

$$G(m) = 1 - (1 - P_1)^m, \quad (2)$$

где $m=1, \dots, n$.

На рис. 1 представлен закон блокирования (поражения) радиовзрывателя для $P_1 = 0,2$. Из рисунка

видно, что для внутрисполосного воздействия вероятность попадания последовательности импульсов в уязвимый агрегат с увеличением числа излучаемых сигналов увеличивается.

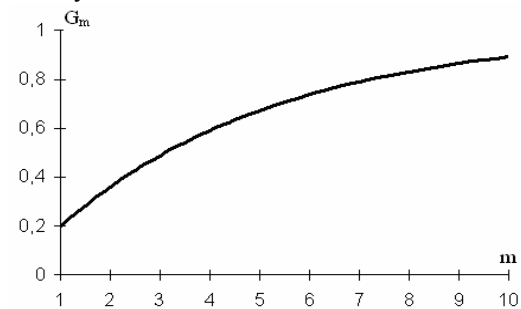


Рис. 1. Закон блокирования (поражения) радиовзрывателя для $P_1=0,2$.

Блокирование (поражение) приемного тракта радиовзрывателя обеспечивается при использовании последовательности, состоящей из $n=10$ импульсов. Наиболее распространённый метод расчёта вероятности блокирования (поражения) заключается в применении формулы:

$$R_6 = \sum_{m=1}^n P_m G(m), \quad (3)$$

где P_m – вероятность попадания m импульсов в область соединения антенны с радиовзрывателем.

Предположим, что для СШП РТС диаметр "пятна", формируемого главным лепестком ДН антенны на расстоянии 20 м от зеркальной антенны, составляет величину $d_n^{ФШП} = 24$ м. В предположении, что в РТС блокирования РУВУ используется всенаправленная биконическая антенна с несимметричной ДН и КУ $G=8$ дБ, что соответствует ширине ДН в угломестной плоскости $2\Theta_{0,5P}^0 = 23^0$ и в азимутальной $2\varphi_{0,5P}^0 = 360^0$. Тогда размер "пятна" в физически реализуемом секторе вдоль направления движения будет $d_n^{блок} > 50$ м и в перпендикулярном – $d_n^{блок} = 28$ м. Расчеты, проведенные для энергетического потенциала РТС специального назначения, позволяют сделать вывод о том, что излучаемая мощность в пределах главного лепестка ДН будет достаточной для блокирования и ФП РУВУ, т.е. закон распределения местоположения радиовзрывателя в пределах главного лепестка ДН будет равномерным.

Длительность СШП сигнала в виде заградительной помехи составляет 0,5 нс (пространственная длительность СШП сигнала $ct_n=15$ см), пространственная длительность узкополосного сигнала для блокирования РУВУ будет в несколько раз ($5 \div 10$) раз больше. Обзор литературы показывает, что линейные размеры радиовзрывателя имеют величину порядка 5 – 10 см, что меньше пространственной длительности помехового сигнала. Таким образом, задача блокирования или ФП РУВУ может быть сведена к известной задаче об определении вероятности попада-

ния случайной точки в эллипс рассеяния, полуоси которого равны k средним квадратическим отклонениям для нормального закона распределения [2]:

$$P((X, Y) \in B_k) = 1 - e^{-k^2/2},$$

где k – отношение пространственной длительности импульса к габаритным размерам радиовзрывателя.

Учитывая, что габаритный размер радиовзрывателя $L=5$ см, пространственная длительность СШП сигнала $\sigma_n=15$ см, а импульса для блокирования РУВУ – $\sigma_n=75$ см, найдем, что $P_m((X, Y) \in B_k) = 0,98$ для СШП сигнала $P_m=0,99$ импульса блокирования РУВУ.

На рис. 2 представлена вероятность блокирования (поражения) от количества импульсов в пакете.

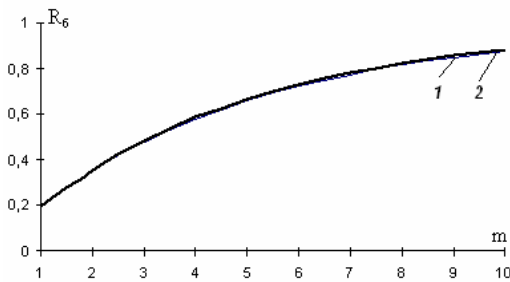


Рис. 2. Вероятность блокирования (поражения) от количества импульсов в пакете
(1 – последовательность СШП сигналов, 2 – последовательность импульсов блокирования)

Из рисунка видно, что при увеличении количества излучаемых импульсов вероятность блокирования (поражения) увеличивается. При этом для $n = 10$ $R_6 = 0,87$ для последовательности СШП сигналов и $R_6 = 0,88$ для последовательности импульсов блокирования. Полученные результаты могут быть объяснены тем фактом, что в обоих случаях пространственные размеры импульса много больше габаритных размеров радиовзрывателя.

С учетом приведенных выше рассуждений, найдем, что вероятность выполнения боевой задачи РТС специального назначения, рассчитываемая по формуле (1), будет иметь вид, изображенный на

рис. 3. Кривая 1 соответствует последовательности СШП сигналов, кривая 2 – последовательности импульсов блокирования.

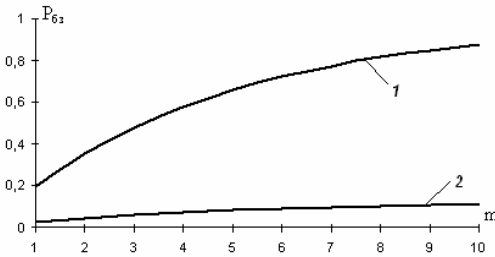


Рис. 3. Вероятность выполнения боевой задачи в зависимости от количества импульсов в пакете

Существенная разница в эффективности выполнения боевой задачи для обоих типов РТС специального назначения обусловлена следующими факторами: областью "тени" при наезде автотехники с РТС блокирования РУВУ на место залегания фугаса, а также использованием линейно поляризованных антенн, что снижает также и технический показатель эффективности защиты.

Выводы

Проведенный сравнительный анализ боевой эффективности РТС блокирования РУВУ и СШП РТС ФП РУВУ показал, что при функциональном внутрисполосном поражении для 10 импульсов в пакете вероятность выполнения боевой задачи существенно выше (в 7 раз), чем при блокировании РУВУ.

Список литературы

1. Певцов Г.В. Вітчизняні засоби захисту об'єктів від радіокерованого підриву та основні способи їх бойового застосування / Г.В. Певцов, С.В. Пшеничних, А.З. Поточняк // Честь і закон. – 2006. – № 2. – С. 32-37.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / Е.С. Вентцель. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.

Поступила в редколлегию 1.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БОЙОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РТС БЛОКУВАННЯ ТА РТС ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИБОРІВ РАДІОВИБУХІВОК

Г.В. Єрмаков, С.М. Власік

Запропонований метод оцінки бойової ефективності РТС для протидії радіолініям керування вибуховими пристроями (РКВП), проведений кількісний розрахунок імовірності правильного визначення характеристик РКВП, імовірності своєчасного початку роботи РТС спеціального призначення при русі колони автотехніки і імовірності блокування (ураження) об'єкта з урахуванням надійності роботи елементів комплексу і протидії противника. Проведений порівняльний аналіз бойової ефективності РТС блокування РКВП і надширокопasmової РТС для функціонального ураження РКВП.

Ключові слова: бойова ефективність, імовірність виконання бойової задачі, імовірність блокування.

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMBAT EFFECTIVENESS OF THE RTS RTS BLOCKING AND FUNCTIONAL AFFECTATION RECEIVERS RADIO EXPLOSIVE DEVICES

G.V. Yermakov, S.N. Vlasik

A method for assessing the combat efficiency of the RTS to counter radiolines of control explosive devices (RCED), the quantitative calculation of the correct definition probability RCED, of the timely start probability of the RTS special when moving columns of vehicles and blocking (defeat) probability objects that in view of the complex elements reliability and counter the enemy. A comparative analysis of the combat effectiveness of the RTS blocking RCED and ultrawideband RTS for functional defeat RCED.

Key words: combat effectiveness, the probability that a combat mission, the probability of blocking