

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАРТ-ГРИД ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ

В. И. ЛУЦЕНКО, И. В. ЛУЦЕНКО, А. В. СОБОЛЯК

Рассмотрена возможность построения интеллектуальных сетей из отдельных объектов наземной техники и за счет этого повышения эффективности их применения и живучести. Особое значение имеет повышение информативности каналов получения информации о внешней обстановке путем объединения информационных потоков каналов, использующих различные физические поля (акустические, электромагнитные и т.п.). Оценены дальности обнаружения для различных датчиков и результат, получаемый от их комплексирования.

Ключевые слова: смарт-грид технологии, интеллектуальные сети, объекты наземной техники.

ВВЕДЕНИЕ

То, что в настоящее время называется смарт-грид технологиями или технологиями распределенного интеллекта применялись в военном деле с незапамятных времен. Действительно иерархия построения военной структуры предполагает принятие решений каждым звеном в области зоны своей ответственности, обмен принятыми решениями, результатами их выполнения, а также изменениями обстановки в зоне своей ответственности. Иное дело, что каналы передачи информации между отдельными структурными звеньями в течении веков претерпели существенные изменения. Создание в последнее время роботизированных датчиков, передача и отображение информации отдельных звеньев управления на общий пункт, а также отображение в пределах зоны ответственности каждого из звеньев не только информации, полученной от его информационных датчиков, но и интегральной информации от пункта управления, приводит к тому, что военные системы управления становятся в полной мере смарт-грид системами с распределенным интеллектом.

1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПОНЯТИЯ SMART GRID

Первоначально интеллектуальные сети Smart Grid рассматривались как перспективная концепция будущей энергетики. Однако появившись применительно к умным энергетическим системам этот термин получил более широкое распространение применительно, например, к концепции построения умного дома, интеллектуальных систем водоснабжения [1–3].

С точки зрения Министерства энергетики США, интеллектуальным сетям (Smart Grid) присущи следующие атрибуты [3]: способность к самовосстановлению после сбоев; возможность активного участия в работе сети потребителей; устойчивость сети к физическому и кибернетическому вмешательству злоумышленников; обеспечение требуемого качества передаваемой электроэнергии; обеспечение синхрон-

ной работы источников генерации и узлов хранения электроэнергии; появление новых высокотехнологичных продуктов и рынков; повышение эффективности работы энергосистемы в целом.

Smart Grid можно описать следующими аспектами функционирования: гибкость, доступность, надежность, экономичность.

Аналогичные принципы могут использоваться и при построении интеллектуальных распределенных сетей управления объектами военной техники.

По-видимому, впервые принципы смарт-грид технологий были реализованы в универсальном ракетном комплексе «Гранит» с дальней противокорабельной крылатой ракетой П-700 подводно-надводного старта, разработки 70-х гг. 20-го века [4]. Он предназначен для поражения авианосных групп НАТО.

Комплекс обеспечивает залповую стрельбу всем боекомплектом с рациональным пространственным расположением ракет и позволяет действовать против одиночного корабля по принципу «одна ракета-один корабль» или «стаей» против ордера кораблей. В режиме беглого огня одна ракета, выполняющая роль «наводчика», летит по высокой траектории, чтобы максимально увеличить площадь захвата цели, в то же время другие ракеты летят по низкой траектории. В полёте ракеты обмениваются информацией о целях. Если ракета - «наводчик» перехвачена, тогда одна из других ракет автоматически принимает на себя её функцию [4].

Ракеты сами распределяют и классифицируют по важности цели, выбирают тактику атаки и план ее проведения. Для исключения ошибки при выборе маневра и поражения заданной цели в бортовую вычислительную машину (БЦВМ) заложены электронные данные по современным классам кораблей. К тому же в БЦВМ есть и тактические сведения, к примеру, о типе ордеров кораблей, что позволяет ракете определить, кто перед ней – конвой, авианесущая или де-

сантная группа, и атаковать главные цели в ее составе.

В БЦВМ заложены данные по противодействию средствам радиоэлектронной борьбы противника, способным постановкой помех уводить ракеты от цели, тактические приемы уклонения от огня средств противовоздушной обороны. После пуска ракеты сами решают, какая из них будет атаковать, какую цель и какие маневры для этого нужно осуществить в соответствии с заложенными в программу поведения математическими алгоритмами. Ракета имеет и средства противодействия атакующим ее противоракетам. Уничтожив главную цель в корабельной группе, оставшиеся ракеты атакуют другие корабли ордера, исключив возможность поражения двумя ракетами одной и той же цели [4].

Эти идеи получили дальнейшее развитие в последующих комплексах ПКР [5] – в крылатых ракетах ЗМ-55 «Оникс» и созданной на её базе российско-индийской ракете «БраМос». Особенность этих ракет – в системе искусственного интеллекта, сравнимой с человеческим, позволяющей действовать против одиночного корабля по принципу «одна ракета – один корабль» или «стаей» против ордера кораблей.

«Граниты» и «Ониксы» – «стайные» машины [7]. Именно в залпе раскрывается их главное тактическое преимущество: ракеты сами распределят и классифицируют по важности цели, выберут тактику атаки и план ее проведения. Для исключения ошибки при выборе маневра и поражения именно заданной цели в бортовую вычислительную машину ПКР заложены электронные «портреты» всех современных классов кораблей. Это позволяет повысить достоверность определения типа цели, в том числе и при применении методов радиомаскировки и искажения радиоэлектронных сигнатур целей.

И если в системах ПВО и ПРО принципы построения интеллектуальных распределенных сетей используются, то для объектов наземной техники их внедрение является сейчас актуальной задачей.

Первые шаги в этом направлении сделаны при создании российской платформы «Армата» (Т-14) [6].

В отличие от традиционных танков, Т-14 является «сетевым танком», т. е. предназначен не для одиночного боя, а для работы с группой различных

боевых машин в одном тактическом звене, выполняя функции разведки, целеуказания и дистанционного управления через единую систему управления тактического звена от концерна «Созвездие» [6]. Это позволяет всем машинам платформы «Армата» получать оперативную обстановку в режиме реального времени и автоматически рассчитывать баллистические данные для систем управления огнём в сценарии поражения целей не одной «Арматой», а сразу всей группой, которая включает в себя, кроме Т-14, ещё несколько тяжёлых БМП Т-15, САУ 2С35 «Коалиция-СВ» и ударный вертолёт [6]. В соответствии с теорией сетевых войн танк больше не будет «один в поле воин». Современная война ведётся не на поле боя, а в информационном пространстве. Для его создания Т-14 будет получать данные от разведчиков и штабов, от других боевых машин, от беспилотных летательных аппаратов и даже прямо с разведывательных спутников [6]. В перспективе подобная система в совокупности с необитаемой башней позволит создать беспилотный танк. Но это будет уже машина пятого поколения.

Приведенные примеры показывают, что при внедрении смарт-грид технологий управления объектами военной техники, которые могут повысить эффективность ее применения, ключевыми вопросами является создание многоканальных датчиков отображения информационных сцен, в том числе и использующих различные физические поля, а также автоматизация процессов обмена информацией между различными участниками сцен и пунктами управления.

2. ДАТЧИКИ И КАНАЛЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ ОБСТАНОВКЕ

Датчики, использующие электромагнитные поля. В настоящее время основными каналами получения информации являются визиры оптического и инфракрасного диапазонов волн. Основные технические характеристики используемых на отечественной и зарубежной БТ оптических и ИК датчиков, заимствованные из работы [7] приведены в табл. 1.

Дополнительно для разведки могут использоваться и существующие излучения систем наземного и космического базирования других диапазонов длин волн. Так может использоваться излучение наземных телевизионных центров [8–9].

Таблица 1

Основные характеристики приборов наблюдения и прицеливания БТТ [7]

Оптико-технические характеристики	Прицелы		Приборы наблюдения					
	ПП-61 АМ	1ПЗ-2	дневные		ночные			
			ТПКУ-2Б	ГНПО-115; ГНП-165	ТКН-1С	ТКН-3	ТВНО-2Б	ТВНЕ-4Б
Увеличение, крат. пост./панкрат.	2,6	1,2/3,0	5	-	2,75	3,0/2,2	1,0	1,0
Перископичность, мм	285	285	200	200	200	200	200	200
Дальность действия, м (день/ночь)	2000	2000	3000	смотровые	-/300	4000/400	-/100	-/120

В последнее время интерес проявляется к созданию активно-пассивных систем, использующих для подсветки воздушной обстановки излучение вещательных КВ станций [10–14]. Кроме того для освещения обстановки может использоваться излучение систем, расположенных в космосе: навигационных спутников [15, 16], а также геостационарных телевизионных и вещательных спутников. Кроме того, для задач разведки могут использоваться и акустические поля, например, собственные акустические шумы объектов техники [17–22]. Ниже будут кратко рассмотрены возможности использования каждого из этих дополнительных информационных каналов, а также получаемый от этого эффект.

ЭПР объектов техники в декаметровом и УКВ диапазонах волн. Для расчета дальностей действия активно-пассивных систем, использующих для подсветки сигналы вещательных КВ и УКВ станций, собственные радиостанции объектов наземной бронетехники, сигналы навигационных и геостационарных телевизионных спутников необходимо знание ЭПР обнаруживаемых наземных и воздушных объектов. Используя результаты экспериментальных исследований на моделях [24–25] в работе [14] была предложена методика и рассчитаны ЭПР воздушных объектов. Используя эту методику расчета, аналогичным образом были оценены ЭПР наземных объектов. Обобщающие данные ЭПР приведены в табл. 2.

Таблица 2

Среднее значение ЭПР объектов в резонансной области

Объект	Назначение	Горизонтальная поляризация		Вертикальная поляризация
		ЭПР в резонансной области		
		Корпус, дБ/м ²	Винт, дБ/м ²	Корпус, дБ/м ²
Вертолет	МЦ	27,3	26,3	18,3
	У	28,6	27,4	17,4
	Т	31,5	30,3	21,4
		Корпус, дБ/м ²	Крыло, дБ/м ²	Корпус, дБ/м ²
Самолет	Ш	26,7	25,4	17,2
	Б	35,6	36,6	23,6
	И	30,5	26,7	19,8
	П	37,6	36,9	26,6
	БПЛА	2,5	12,5	-
		Корпус с пушкой, дБ/м ²	Корпус, дБ/м ²	Корпус, дБ/м ²
Танк		25,3	16,0	13,4

В таблице использованы следующие обозначения: У – ударный, Т – транспортный, МЦ – многоцелевой, Ш – штурмовик, И – истребитель, Б – бомбардировщик. П – пассажирский, БПЛА – беспилотный.

Анализ показывает, что в резонансной области рассеяния ЭПР может иметь значительную величину, достигающую сотен, тысяч квадратных метров, для резонансных частот облучающего поля от единиц до десятка мегагерц.

Подсветка с использованием излучений вещательных КВ станций. Особенностью данного вида радиолокации является использование для подсветки обстановки ионосферной волны вещательной КВ станции. Это позволяет осуществлять подсветку обстановки на удаленностях в несколько тысяч километров от передающей станции. Мощность принимаемого отраженного целью сигнала P_T определяется соотношением:

$$P_T = \frac{P_{Tr} G_{Tr} G_R F^2(\theta_T) \sigma_T(\theta_{Tr}, \theta_R) \lambda^2}{(4\pi)^3 R_{TrT}^2 R_{TR}^2 L_{TrT} L_{TR}}, \quad (1)$$

где P_{Tr}, P_T – излучаемая и принимаемая отраженная от цели мощности; G_{Tr}, G_R – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; R_{TrT}, R_{TR} – дальности между передатчиком и целью и целью и приемником, $\sigma(\theta_{Tr}, \theta_R)$ – бистатическая ЭПР цели при направлениях на передатчик и приемник θ_{Tr}, θ_R – соответственно; L_{TrT}, L_{TR} – потери при распространении радиоволн от передатчика до цели и от цели до приемника соответственно; λ – рабочая длина волны излучения.

Мощность принимаемого сигнала P_R от передающей станции:

$$P_R = \frac{P_{Tr} G_{Tr} G_R F^2(\theta_{Tr}) \lambda^2}{(4\pi)^2 R_{TrR}^2 L_{TrR}}, \quad (2)$$

где $F^2(\theta_{Tr})$ – значение диаграммы направленности приемной антенны по мощности в направлении на передатчик - θ_{Tr} .

Отношение мощностей сигналов, принимаемых от цели и от передающей вещательной станции μ_{TR} с учетом того, что расстояние от станции подсветки до цели и приемной системы существенно больше расстояния от цели до приемника $R_{TrT}^2 \approx R_{TrR}^2 \gg R_{TR}^2$, а потери при распространении до цели и приемника примерно одинаковы $L_{TrT} \approx L_{TrR}$, причем цель в первом приближении можно полагать изотропно отражающей $\sigma_T(\theta_{Tr}, \theta_R) \approx \sigma_T = const$ и находящейся в пределах прямой видимости приемной системы $L_{TR} \approx 1$, определяется соотношением:

$$\mu_{TR} = \frac{P_T}{P_R} \approx \frac{F^2(\theta_T)}{F^2(\theta_{Tr})} \frac{\sigma_T}{R_{TR}^2} \quad (3)$$

Анализ соотношения (3) показывает, что для увеличения отношения сигналов от цели к прямому сигналу передатчика станции подсветки, которым и определяется дальность обнаружения, необходимо увеличивать отношение значений диаграммного множителя в направлениях на цель и на станцию подсветки. При этом целесообразно в направлении на цель ориентировать максимум диаграммы направленности, а в направлении на станцию подсветки формировать ноль диаграммы. Глубина сформированного провала в диаграмме направленности будет ограничивать максимальную дальность обнаружения. Помимо формирования нуля диаграммы направленности в направлении на источник подсветки (ГНСС) повышение соотношения сигнал-помеха может быть достигнуто за счет применения узкополосной доплеровской фильтрации. Известно, что спектр обратного рассеяния от воздушных, надводных и наземных объектов достаточно узкополосен даже в СВЧ диапазоне. Ширина спектра линии корпуса не превышает десятка Гц [14,23]. В КВ и УКВ диапазонах волн он еще уже – менее 1 Гц. Примерно такой же порядок величин имеет в этих диапазонах и величина доплеровского смещения частоты (единицы-десятки Гц) [14]. При доплеровской селекции можно выделять спектральную линию рассеянного объектом сигнала на доплеровской частоте. Отношение сигнал-шум μ при этом будет определяться отношением сигнала цели μ_{TR} к сигналу подсветки, а также отношением уровня спектральной линии несущей к спектральной плотности шума в диапазоне доплеровских частот (скоростей), где происходит обнаружение цели μ_{SN} :

$$\mu = \mu_{TR} \mu_{SN} \quad (4)$$

Используя соотношение (3), можно записать выражение для оценки дальности обнаружения в бистатических РЛС:

$$R_{TR} = \sqrt{\frac{\mu_{SN}}{\mu} \frac{\sigma_T}{(4\pi)} \frac{F^2(\theta_T)}{F^2(\theta_{Tr})}} \quad (5)$$

Для вероятностей правильного обнаружения 0,9, ложной тревоги 10^{-2} (соотношения сигнал-помеха около $\mu = 10$ дБ), уровне шума по отношению к несущей $\mu_{SN} = 40...50$ дБ при расстройке на доплеровское смещение частоты, ожидаемые дальности обнаружения объектов с различными ЭПР при разной глубине провала диаграммы направленности приемной антенны в направлении на передатчик, полученные с использованием соотношения (5), приведены на рис. 1. На этом же рисунке заштрихованными областями показаны значения ЭПР наземных и воздушных объек-

тов техники взятые из табл. 2. Для получения оценок ЭПР различных типов объектов в декаметровом диапазоне волн использовались результаты, приведенные в работах [14, 23], а также данные модельных экспериментов [24–25].

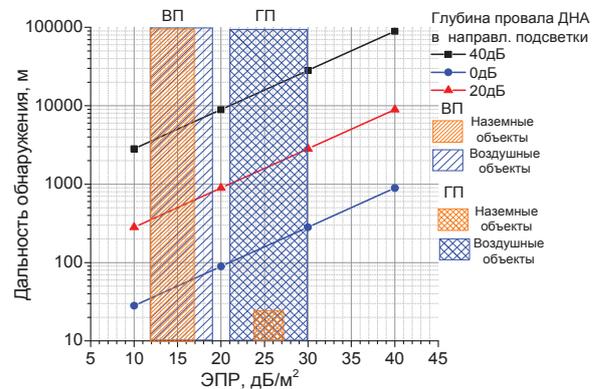


Рис. 1. Дальности обнаружения объектов при использовании подсветки вещательными станциями КВ диапазона

Анализ показывает, что лишь обеспечив достаточно глубокое подавление прямого сигнала подсветки не менее чем на 40дБ можно обеспечить дальности обнаружения в единицы километров для целей с ЭПР более 10 м^2 . Такие или большие ЭПР в декаметровом диапазоне у объектов как наземной, так и воздушной техники. Несколько больше дальности обнаружения при использовании горизонтальной поляризации излучения и приема, чем вертикальной, что объясняется большими значениями их ЭПР на этой поляризации. Для реализации глубокого подавления прямого сигнала подсветки необходимо либо формирование нуля диаграммы в направлении передатчика, например, интерферометрическим методом с использованием двух антенн, либо применением поляризационных методов подавления прямого сигнала. Однако конкретные технические решения этого вопроса выходят за пределы настоящей работы.

Подсветка обстановки с использованием излучений собственных радиостанций КВ и УКВ диапазонов, установленных на бронетехнике. Помимо внешних источников подсветки объектами наземной техники могут использоваться для этих целей и собственные средства связи в виде КВ и УКВ радиостанций. Для группы объектов бронетехники можно предложить следующий алгоритм использования собственных средств радиосвязи для освещения обстановки. Каждый из объектов группы излучает в течение некоторого времени Δt , определяемого требуемым разрешением по доплеровской частоте Δf монохроматический либо модулированный по амплитуде или частоте сигнал:

$$\Delta t = 1/\Delta f \quad (6)$$

Поскольку ширина доплеровской линии отражений от корпуса воздушных объектов менее 1 Гц, то

длительность сигнала подсветки должна составлять несколько секунд, чтобы не происходило ее уширение за счет ограниченного времени облучения. В это время радиостанции остальных объектов работают на прием. Затем подсветку местности осуществляет следующий объект группы, а остальные работают на прием. При работе передатчика радиостанции его приемник ослеплен излучаемым сигналом собственного передатчика. Каждый из объектов может подсвечивать обстановку на своей частоте. При этом частота может использоваться для передачи номера объекта и его координат. При этом получается сочетание режимов уоки – токи с излучением чирп сигнала. Поэтому предложенный нами режим можно назвать: чирп - уоки – токи.

Особенностью данного режима активно-пассивной радиолокации, по сравнению с рассмотренным ранее случаем, является подсветка обстановки поверхностной волной, которая подвержена существенному интерференционному замиранию вследствие влияния поверхности раздела.

Мощность прямого сигнала и сигнала подсветки, переотраженного целью можно определить с учетом соотношений (1, 2):

$$P_R = \frac{P_{Tr} G_{Tr} G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 R_R^2} V_R^2, \quad (7a)$$

$$P_T = \frac{P_{Tr} G_{Tr} G_R \sigma_T (\theta_{Tr}, \theta_R) \lambda^2}{(4\pi)^3 R_T^4} V_T^4. \quad (7b)$$

где $V_R = \frac{h_{Tr} h_R}{\lambda R_R}$, $V_T = \frac{h_{Tr} h_T}{\lambda R_T}$ – множитель ослабления поверхности при дальности связи R_R и дальности радиолокации R_T , а h_{Tr} , h_R , h_T высота антенн передатчика, приемника и цели соответственно, причем $h_{Tr} = h_R$.

Тогда учитывая, что эти мощности должны превышать уровень шумов в μ_T раз при обнаружении цели и μ_R - раз при передаче речевого сигнала:

$$P_R = \mu_T k t \Delta F_R N, \quad (8a)$$

$$P_T = \mu_R k t \Delta F_T N, \quad (8b)$$

а также то, что требуемые соотношения сигнал шум в этих случаях примерно одинаковы $\mu_T \approx \mu_R$, используя соотношений (7, 8), можно записать:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta F_T}{\Delta F_R} &= \frac{\sigma_T (\theta_{Tr}, \theta_R)}{(4\pi) R_T^4 R_R^2} \left(\frac{h_{Tr} h_T}{\lambda R_T} \right)^4 \left(\frac{h_{Tr} h_R}{\lambda R_R} \right)^{-2} = \\ &= \frac{\sigma_T}{(4\pi)} \frac{R_R^4}{R_T^8} (h_T)^4 (\lambda)^{-2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда дальность при таком варианте активно-пассивной радиолокации определится из соотношения (9):

$$R_T = \left(\frac{\Delta F_T}{\Delta F_R} \right)^{-1/8} (R_R^4)^{1/2} \left(\frac{\sigma_T}{(4\pi)} \right)^{1/8} (h_T)^{1/2} (\lambda)^{-1/4}. \quad (10)$$

Результаты оценки дальностей обнаружения от ЭПР цели приведены на рис. 2.

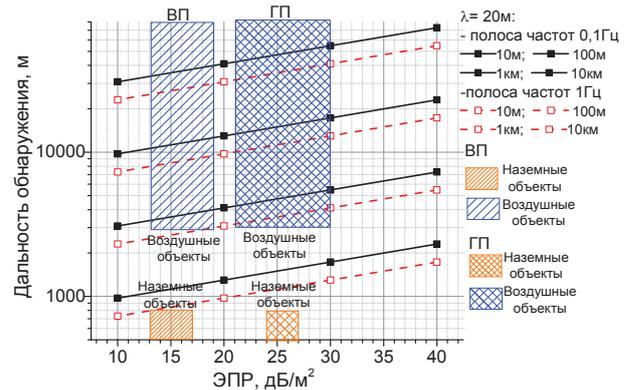


Рис. 2. Дальность обнаружения объектов при подсветке обстановки собственными радиостанциями КВ диапазона

При работе танков в группе идеология использования собственных средств радиосвязи состоит в последовательной подсветке обстановки каждым из танков группы своей радиостанцией, путем излучения в течение некоторого времени монохроматического или модулированного сигнала определенной частоты, которая может быть связана с номером этого объекта в группе, а также его положением в группе. Остальные радиостанции группы работают при этом на прием. Затем подсветку обстановки осуществляет следующая машина, а остальные работают на прием. Частота модуляции может использоваться для оценки разности времен (дальностей) между сигналом, прошедшим от источника подсветки до приемника и суммарной дальности между источником подсветки, целью и приемником.

При оценке дальности действия систем связи и радиолокации (7,10) значения мощности излучения, чувствительности приемника и реализуемые соотношения сигнал / помеха при заданной дальности связи использованы из табл. 3.

Использование для подсветки сигналов ГНСС (ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Compass). Для освещения воздушной обстановки могут использоваться излучения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), как существующих в настоящее время российской и американской (ГЛОНАСС, GPS), так и появляющихся в будущем европейской и китайской (Galileo, Compass). В настоящем подразделе кратко изложена методика расчета дальности действия, разработанная в работах [15, 16].

Таблица 3
Технические характеристики танковых радиостанций

Радиостанция Р-030У УКВ диапазона		
1.	Диапазон частот	30-110 МГц
2.	Мощность	30 Вт ±5 Вт
3.	Нестабильность частоты	Не более $1 \cdot 10^{-6}$
4.	Девияция частоты	(5,6±1,2) кГц
5.	Уровень собственных шумов	130 дБ
6.	Чувствительность приемника	0,5 мкВ
7.	Соотношение сигнал/шум	12 дБ
8.	Дальность связи	20-30км
Радиостанция Р-163-50К КВ диапазона		
1.	Диапазон частот	2-30 МГц
2.	Мощность	50 Вт
3.	Нестабильность частоты	$4,5 \cdot 10^{-7}$
4.	Чувствительность приемника	3 мкВ
5.	Соотношение сигнал/шум	12дБ
6.	Дальность связи	50-300км

Для оценки уровня сигнала ГНСС P_{RO} на выходе стандартной антенны приемника потребителя с широкой диаграммой направленности и усилением G_{RO} можно использовать соотношение (2). Уровень сигнала должен составлять не менее P_{RO} [дБ] ~ -161 дБ/Вт. Эта величина регламентирована в интерфейсных контрольных документах владельцев навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. Это означает, что в месте отражения от объекта сигналы ГНСС на частотах L1 и L2 имеют мощность не менее -161 дБ/Вт на выходе линейно поляризованной антенны с коэффициентом усиления 3 дБ при углах возвышения более 5 градусов. В пересчете на плотность потока мощности это составляет $1,38 \cdot 10^{-14}$ Вт/м². Чувствительность по поиску сигнала приемников ГНСС (S_r) на данный момент составляет -175 дБ/Вт при накоплении измерений сигнала на эпохе кода 1 мс и типовым коэффициентом усиления антенны от +5 дБ (в зените) до -2 на углах менее 15 градусов [16]. С использованием соотношения (1) можно записать дальность обнаружения для систем использующих для подсветки обстановки сигналы ГНСС:

$$R_r^2 < 4 \cdot 10^{-17} \cdot \frac{\sigma}{S_r} \cdot G_r \quad (11)$$

Результаты оценок дальности обнаружения [16], с использованием соотношения (11) для чувствительности приемника: $S_r = -171$ дБ/Вт - накопление измерений на интервале 1 мс, $S_r = -181$ дБ/Вт на 10 мс, $S_r = -191$ дБ/Вт на 100 мс, $S_r = -201$ дБ/Вт на 1 с и $S_r = -211$ дБ/Вт на 10 с и использовании ФАР с $A = 1000$ (30 дБ) приведены на рис. 3.

Анализ показывает:

а) использование ГНСС в качестве «подсвета» неприемлемо для локации динамичных объектов с малым ЭПР;

б) начиная с времени накопления более 1с локация возможна для объектов с большим ЭПР.

в) подобный тип подсветки бесперспективен для использования на объектах бронетехники для освещения воздушной и наземной обстановки.

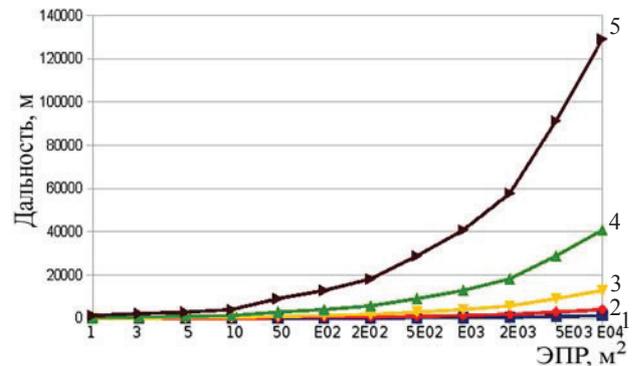


Рис. 3. Дальность радиолокации для различных времен накопления [16]: 1 – время накопления 1 мс; 2 – 10 мс; 3 – 100 мс; 4 – 1 с; 5 – 10 с Усиление приемной антенной решетки 20дБ

Используя приведенные в табл. 2 данные и результаты расчетов на рис. 1, 2, можно оценить дальности обнаружения различных объектов техники при их подсветке как вещательными станциями КВ диапазона, так и собственными радиостанциями, установленными на бронетехнике. Они показаны на рис. 1, 2. заштрихованными областями.

Было показано, что для высотных воздушных объектов дальности обнаружения могут составлять десятки километров. В тоже время наземные и низколетящие объекты могут обнаруживаться лишь на небольших дальностях в единицы километров.

Использование систем акустической разведки для обнаружения наземных и воздушных объектов. Возможность использования собственных акустических шумов объектов для их обнаружения подробно рассмотрена в работах [21, 22] и показано (табл. 4), что использование этого канала позволяет обнаруживать объекты (самолеты, танки, звук выстрела) в отсутствии помех от шума дождя и ветра на удалении более 8 км. В то же время при дожде и ветре дальность обнаружения существенно снижается и в ряде случаев не превышает 1км.

3. КАНАЛЫ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ СЦЕН, А ТАКЖЕ РУКОВОДСТВОМ

В настоящее время для обмена информацией между участниками ТЗ БТТ используются радиостанции – коротких волн (КВ) и ультракоротких волн (УКВ). Следующим этапом является автоматизация процесса передачи данных об обстановке между отдельными участниками сцены и командованием, создание автоматизированных систем отображения обстановки с учетом рисков для данного участника сцены.

Расчетные дальности обнаружения для разных атмосферных условий и типов внешних помех [22]

	Самолет Jet			Вертолет Ми24			Выстрел		
	Влияние атмосферы и поверхности			Влияние атмосферы и поверхности			Влияние атмосферы и поверхности		
	Без помехи	шелест листвы	ветер, дождь	Без помехи	шелест листвы	ветер, дождь	Без помехи	шелест листвы	ветер, дождь
темп.=10, вл.=70%	>8 км	>8 км	1,76 км	>8 км	>8 км	0,9 км	>8 км	>8 км	7,45 км
темп.=20, вл.=70%	>8 км	>8 км	1,7 км	>8 км	>8 км	0,87 км	>8 км	>8 км	6,5 км
темп.=15, вл.=20%	7,3 км	5,7 км	1 км	7,7 км	5,93 км	0,66 км	>8 км	>8 км	3,4 км
	Влияние Атмосферы			Влияние Атмосферы			Влияние Атмосферы		
темп=10, вл=70%	>8 км	>8 км	1,88 км	>8 км	>8 км	0,89 км	>8 км	>8 км	>8 км
темп=20, вл=70%	>8 км	>8 км	1,77 км	>8 км	>8 км	0,86 км	>8 км	>8 км	>8 км
темп=15, вл=20%	>8 км	>8 км	0,95 км	>8 км	>8 км	0,63 км	>8 км	>8 км	8,1 км
	Enginework0800			Enginework2000			Т-34		
	Влияние атмосферы и поверхности			Влияние атмосферы и поверхности			Влияние атмосферы и поверхности		
	Без помехи	шелест листвы	ветер, дождь	Без помехи	шелест листвы	ветер, дождь	Без помехи	шелест листвы	ветер, дождь
темп=10, вл=70%	>8 км	7,5 км	<0,5 км	>8 км	7,58 км	<0,5 км	>8 км	7 км	<0,5 км
темп=20, вл=70%	>8 км	6,4 км	<0,5 км	>8 км	=6,5 км	<0,5 км	>8 км	6,1 км	<0,5 км
темп=15, вл=20%	=6,4 км	4,3 км	<0,5 км	=5,9 км	=4 км	<0,5 км	=6,2 км	4 км	<0,5 км
	Влияние атмосферы			Влияние Атмосферы			Влияние Атмосферы		
темп=10, вл=70%	>8 км	>8 км	0,94 км	>8 км	>8 км	0,93 км	>8 км	>8 км	0,88 км
темп=20, вл=70%	>8 км	>8 км	0,91 км	>8 км	>8 км	0,9 км	>8 км	>8 км	0,85 км
темп=15, вл=20%	>8 км	>8 км	0,8 км	>8 км	>8 км	0,75 км	>8 км	>8 км	0,7 км

Для этого также могут использоваться штатные радиостанции, работающие в режиме автоматической передачи телеметрических данных. Кроме того необходимо отображение как задач, выполняемых соседями, так и технической готовности каждого из участников к их выполнению.

Интеграция в единую систему управления (ЕСУ) тактического звена (ТЗ) также резко сокращает проблему «дружественного огня». Точное определение по ЕСУ ТЗ координат собственной техники (используя ГНСС приемники) гарантирует, что танки группы не уничтожат случайно собственных коллег. Информационный обмен между объектами БТТ группы своих координат и разведанных координат противника позволяет повысить эффективность их боевого применения.

Приемники ГНСС позиционирования совместно с автоматизированной системой обмена информацией с командным пунктом и участниками ТЗ позволяет осуществлять обстрел противника по расчетным координатам его нахождения. Каждый участник ТЗ, обнаружив противника после определения его координат относительно собственных (используя лазерный дальномер и угломерные оптические системы), передает их в ЕСУ, которая распределяет по остальным участникам ТЗ, которые могут осуществлять их обстрел по расчетным координатам.

Примером подобного информационного обмена являются современные противокорабельные ракетные комплексы РФ [4, 5].

Очевидно, если противники имеют однотипные информационные системы с одинаковыми техническими возможностями, то у них будут одинаковы и вероятности выживания. Если же у одного из противников технические возможности систем разведки, наведение оружия, управления оружием и самого оружия лучше, то повышается и вероятность его выживания в конфликте. К аналогичному результату приводит и появление дополнительных информационных каналов, использующих другие физические поля, например, электромагнитные поля радиодиапазона или акустическое излучение объектов.

Пусть зависимости вероятностей обнаружения объектов противника от дальности различными системами (оптическими, инфракрасными, радиосистемами) примерно одинаковы. Тогда совместное их использование позволяет существенно расширить зону уверенного обнаружения противника, а значит и вероятность выживания. К такому же результату (расширению зоны обнаружения противника) может приводить использование дополнительной информации, полученной от других участников сцены.

4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ РАЗЛИЧНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

При обнаружении сигнала со случайной начальной фазой и амплитудой вероятность обнаружения D и ложной тревоги F связаны соотношением [26]:

$$D = F^{1+\mu}, \quad (12)$$

где μ – соотношение сигнал-шум.

При обнаружении сигнала на фоне внутренних шумов приемной аппаратуры можно записать:

$$P_r = \frac{P_{Tr} G_{Tr} G_R \lambda^2 \sigma_T}{4\pi^3 R^4} V^4. \quad (13)$$

С учетом того, что:

$$\Pi = \frac{P_{Tr} G_{Tr} G_R \lambda^2 \sigma_T}{4\pi^3 P_N}, \quad (14)$$

где P_{Tr}, P_r – излучаемая и принятая мощности, ЭПР и дальность до цели, G_{Tr}, G_R – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, Π, P_N – потенциал РЛС и мощность шума на входе приемника, V – интерференционный множитель ослабления поверхности. Учитывая, что $P_r = \mu P_N$, можно записать соотношение сигнал-шум:

$$\mu = \Pi \frac{\sigma_T}{R^4} V^4. \quad (15)$$

Для высотных целей $V^4 \approx 1$, а для целей расположенных вблизи поверхности раздела (наземных или надводных), а также вблизи от нее (маловысотных воздушных) $V^4 \approx \frac{1}{R^4}$, причем их высоты:

$$h_T \ll \frac{\lambda R}{4h_R}, \text{ где } h_T, h_R \text{ высота цели и антенны РЛС.}$$

Таким образом, соотношение сигнал /шум прямо пропорционально потенциалу системы, ЭПР цели и обратно пропорционально четвертой степени дальности для высотных объектов и восьмой степени для маловысотных или поверхностно расположенных.

В случае маловысотных или поверхностно расположенных целей чаще всего фактором, лимитирующим дальность их обнаружения, являются не внутренние шумы аппаратуры, а помехи от местных предметов – отражения от участков суши, моря или ясного неба.

Тогда с учетом выражений (12–15) можно записать:

$$D \approx F^{\frac{1}{1+\Pi \frac{\sigma_T}{R^4} V^4}}, \quad (16)$$

а значит, для высотных объектов оно имеет вид:

$$D = F^{\frac{1}{1+\Pi \frac{\sigma_T}{R^4} V^4}} \approx F^{\frac{R^4}{\Pi \sigma_T V^4}} \approx F^{\frac{R^4}{\Pi \sigma_T}}, \quad (17 \text{ а})$$

а для маловысотных:

$$D \approx F^{\frac{R^8}{\Pi \sigma_T}}. \quad (17 \text{ б})$$

Из соотношений (17) можно определить дальности R_0 , на которых обеспечиваются заданные вероятности правильного обнаружения D_0 и ложной тревоги F_0 для высотных:

$$R_0 = \left(\Pi \sigma_T \frac{\ln(D_0)}{\ln(R_0)} \right)^{1/4}, \quad (18 \text{ а})$$

и

$$R_0 = \left(\Pi \sigma_T \frac{\ln(D_0)}{\ln(R_0)} \right)^{1/8}, \quad (18 \text{ б})$$

соответственно для маловысотных целей.

Тогда соотношения (16) могут быть записаны в виде:

$$D = D_0^{x4m}, \quad (19)$$

где $m=1$ для высотных целей, $m=2$, а $x = \frac{R}{R_0}$ – относительная дальность.

На рис. 4 показан характер зависимости вероятностей обнаружения от дистанции (рис. 4, а) для двух фиксированных вероятностей обнаружения ($=0,5$ и $0,9$) и дальностей обнаружения от потенциала системы и ЭПР обнаруживаемого объекта (рис. 4, б). Из рис. 4 следует, зависимость вероятности обнаружения является монотонно убывающей функцией дальности и, в большинстве случаев, при практических расчетах можно использовать ее аппроксимацию, в виде ступенчатой функции с постоянным значением от нулевых дальностей до дальностей, когда вероятность обнаружения равна $0,9$ и считая ее равной нулю на больших дальностях. Это будет давать при расчетах несколько заниженные данные.

Для реальных систем разведки, а также вооружений, как правило, зависимости вероятностей обнаружения и поражения от дистанции до цели неизвестны.

В лучшем случае, в ходе испытаний могут определяться дальности, на которых реализуются заданные вероятности обнаружения (обычно $0,9$ или $0,99$) и заданные вероятности поражения объектов системами вооружения.

Соотношение (19) может быть переписано в виде:

$$D = D_0^{\left(\frac{R}{R_0}\right)4m}, \quad (19 \text{ а})$$

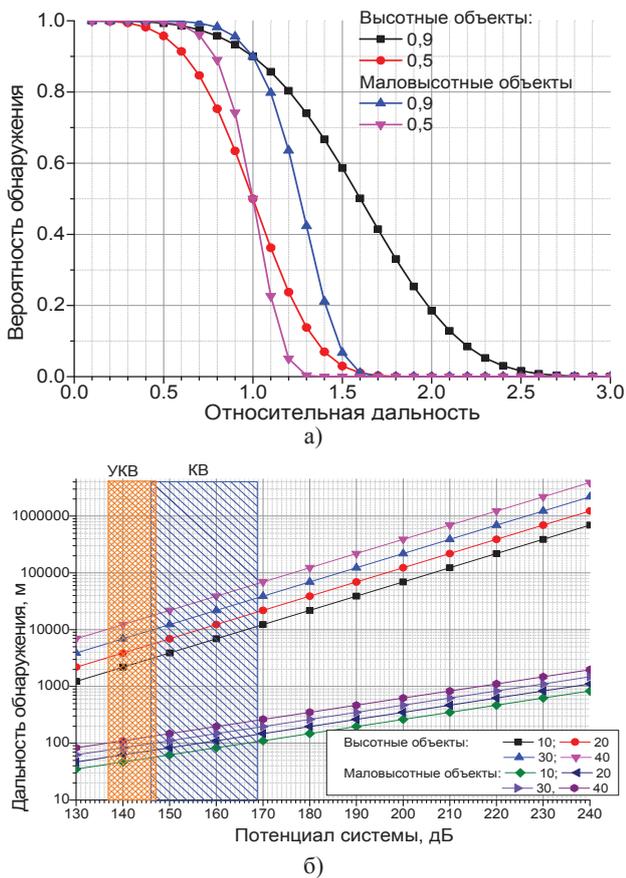


Рис. 4. Зависимости вероятности обнаружения флуктуирующего сигнала от дальности (а) и дальности обнаружения от потенциала системы и ЭПР целей (10дБ/м², 20дБ/м², 30 дБ/м², 40дБ/м²) для высотных и маловысотных объектов

удобном, для дальнейших расчетов. В него входят заданные вероятности обнаружения D_0 на дальности для высотных $m=1$ и маловысотных $m=2$ объектов. Будем полагать, что аналогичным соотношением (19а) описывается и вероятность поражения объекта системой вооружения при $m=1$. При этом под R_0 дальность поражения противника с вероятностью D_0 .

В случае, если используется несколько датчиков контроля обстановки (оптические, радиоволновые, акустические) и несколько систем вооружения (артиллерийская, ракетная), то при статистической независимости получаемых ими результатов, вероятности уничтожения P_d^k и не уничтожения P_d^k k -го противника определяются

$$P_d^k = P_{det}^k P_{dest}^k, \quad (20 \text{ а})$$

$$P_d^k = 1 - P_{det}^k P_{dest}^k, \quad (20 \text{ б})$$

через вероятность обнаружения k -го объекта противника датчиками освещения обстановки P_{det}^k и вероятность уничтожения k -го противника системами вооружения P_{dest}^k . Последние определяются

$$P_{det}^k = 1 - \prod_{i=1}^{i=i_0} (1 - P_{det}^{k_i}), \quad (21 \text{ а})$$

$$P_{dest}^k = 1 - \prod_{j=1}^{j=j_0} (1 - P_{dest}^{k_j}), \quad (21 \text{ б})$$

через вероятности обнаружения k -го объекта противника i_0 датчиками освещения обстановки $P_{det}^{k_i}$ и вероятности уничтожения k -го противника j_0 системами вооружения $P_{dest}^{k_j}$.

Соотношения (19–21) позволяют оценить эффективность комплексного использования датчиков освещения обстановки различных типов и систем вооружения.

Вероятность успешного выполнения задачи P_{01} своим объектом, в случае наличия одного объекта противника $k=1$ будет определяться через произведение вероятностей поражения P_d^1 объекта противника и не поражения P_d^0 им (20):

$$P_{01} = P_d^1 \cdot P_d^0 = P_d^1 (1 - P_d^0), \quad (22 \text{ а})$$

где индексы 0 и 1 относятся к своему объекту и объекту противника.

Аналогичным образом определяется успешное выполнение задачи объектом противника:

$$P_{10} = P_d^0 \cdot P_d^1 = P_d^0 (1 - P_d^1). \quad (22 \text{ б})$$

Можно ввести понятие функционала эффективности, характеризующего насколько вероятность уничтожения противника в дуэльной схватке двух объектов, при условии сохранения живучести своего объекта, больше вероятности уничтожения противником вашего объекта, при условии сохранения живучести объектом противника, определится из соотношений (22) как:

$$\begin{aligned} \Delta &= P_{01} - P_{10} = P_d^1 \cdot P_d^0 = P_d^1 (1 - P_d^0) - P_d^0 (1 - P_d^1) = \\ &= P_d^1 - P_d^0. \end{aligned} \quad (23 \text{ а})$$

И будет равен разности вероятности уничтожения своим объектом объекта противником и вероятности уничтожения противником своего объекта. С использованием (20а) можно записать:

$$\begin{aligned} \Delta &= P_{det}^1 P_{dest}^1 - P_{det}^0 P_{dest}^0 = \\ &= (\Delta_{det} + P_{det}^0) (\Delta_{dest} + P_{dest}^0) - P_{det}^0 P_{dest}^0 = \\ &= \Delta_{det} P_{dest}^0 + \Delta_{dest} P_{det}^0 + \Delta_{det} \Delta_{dest}, \end{aligned} \quad (23 \text{ б})$$

где $\Delta_{det} = P_{det}^1 - P_{det}^0$, а $\Delta_{dest} = P_{dest}^1 - P_{dest}^0$ разница вероятностей обнаружения датчиков своего объекта и противника, а также разности вероятностей пораже-

ния системами вооружения своего объекта и противника.

Из соотношения (23 б) следует, что обеспечение более высоких вероятностей обнаружения $\Delta_{det} > 0$ датчиками обстановки, чем это достигается противником и больших вероятностей уничтожения $\Delta_{dest} > 0$ его приводит к возрастанию значений функционала качества выполнения задачи $\Delta > 0$. Из соотношений (21) следует, что дополнение системы обнаружения дополнительным датчиком обстановки или системы вооружения дополнительной системой оружия приводит к возрастанию вероятности обнаружения противника и вероятности его уничтожения:

$$P_{det}^{k,i_0+1} - P_{det}^{k,i_0} = \prod_{i=1}^{i=i_0} (1 - P_{det}^{k_i}) - \prod_{i=1}^{i=i_0+1} (1 - P_{det}^{k_i}) = P_{det}^{k,i_0+1} \prod_{i=1}^{i=i_0} (1 - P_{det}^{k_i}), \quad (24 \text{ а})$$

$$P_{dest}^{k,j_0+1} - P_{dest}^{k,j_0} = \prod_{j=1}^{j=j_0} (1 - P_{dest}^{k_j}) - \prod_{j=1}^{j=j_0+1} (1 - P_{dest}^{k_j}) = P_{dest}^{k,j_0+1} \prod_{j=1}^{j=j_0} (1 - P_{dest}^{k_j}), \quad (24 \text{ б})$$

на величины пропорциональные вероятностям обнаружения реализуемым добавленным датчиком обстановки и вероятностям поражения противника, реализуемым добавленной системой вооружения.

Таким образом, появление у противника дополнительных датчиков контроля обстановки и новых систем вооружения позволяет ему более успешно решать поставленные задачи. Поэтому для повышения живучести собственных объектов необходимо использование большего, чем у противника количества каналов получения информации о внешней обстановке, и улучшения их характеристик, а также применение дополнительных систем вооружения и увеличение дальности действия старых систем вооружения.

В табл. 5 приведены дальности действия (обнаружения с вероятностями более 0,9) существующих и перспективных датчиков обстановки, а в табл. 6 дальности действия различных систем вооружения и сопряженных с ними систем наведения.

В качестве примера оценены функционалы эффективности при дуэльной схватке танков России Т-90 и США – Абрамс для двух ситуаций:

Танки имеют примерно одинаковое артиллерийское вооружение и средства управления огнем, а также комплексы активной защиты. Отличие состоит в применении различных систем ПТУР («Корнет» и «Джавелин»), причем дальность поражения первого более чем в 3 раза превышает аналогичную характеристику второго.

В другом варианте будет рассмотрено влияние на эффективность боевого применения Абрамса дополнительно активно-пассивной системы разведки КВ

Таблица 5

Дальности действия датчиков обнаружения

Датчики	Оптические	ИК	РТС КВ и УКВ диапазонов [14]		Пассивные акустические			
	ТПКУ-2Б, ТKN-3 [19]		TKH-3 [19]	Активные	Активно-пассивные	РТС [21, 22]	тихо	Ветер, дождь
Объекты	день	ночь						
Наземные (БТТ, автомобили)	3,0км;4,0км	0,4 км	0,4...1,0 км	0,3...0,7км	6,0км	0,5км		
Воздушные (самолеты, вертолеты)	-	-	2...20км	1...3км	7.3км	0,7км		
Выстрел	-	-	-	-	8км	3,4км		
БПЛА	-	-	1...8 км	0,5...1,5 км	6,0 км	-		

Таблица 6

Дальность действия систем оружия и прицелов

Название	Страна	Источник	Дальность	Высота	Применение
Верба (Индекс ГРАУ 9К333, ракета 9М336)	Россия	27	≥6км	≥4км	Самолеты, вертолеты, БПЛА, ракеты
FGM-92 «Стингер»	США	28	4,8км	0,18-3,8км	Самолеты, вертолеты
Стрела-10 (SA-13 Gopher)	СССР	29	5км	0,025-3,5км	
«Корнет» (Индекс ГРАУ — 9К135, AT-14 Spriggan)	СССР	30	10км	9км	БТТ, самолеты, вертолеты со скоростью до 250м/с
ПТРК FGM-148 Javelin	США	31	0,05...2,5км	-	БТТ
Артиллерийские системы танков с прицелами ПП-61 АМ и ППЗ-2 с тепловизором «Буран-М» с тепловизором «Эсса»	СССР Россия	19 32	2,0км /1,8км /4,0км	-	БТТ
Артиллерийское вооружение танка Абрамс: M1A1 M1A2	США	32	0,2...4,0км 0,2...5,0км		БТТ

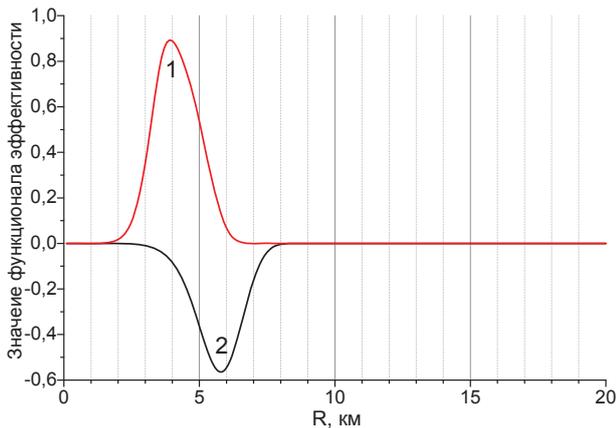


Рис. 5. Влияние на боевую эффективность БТТ Abrams использования дополнительных каналов освещения обстановки: 1- T-90 и Abrams со стандартными системами вооружения и оптическими системами наблюдения и прицеливания; 2- Abrams с дополнительными системами акустической разведки и целеуказания

диапазона, а также пассивной системы акустической разведки. Оценки для обоих вариантов комплектования объектов БТТ средствами вооружения и анализа обстановки проведены с использованием соотношений (19а, 21–23) и представлены на рис. 5.

Видно, что если в первом случае преимущество T-90 за счет использования более эффективной системы ПТРК является неоспоримым, то появление у Abrams дополнительного канала акустической разведки и целеуказания, имеющего существенно большие дальности обнаружения объектов в беспомеховой обстановке, приводит к тому, что эффективность Abrams становится выше, чем T-90.

Кроме того из рис. 6 видно, что для каждого набора вооружений и датчиков обстановки существуют дальности, на которых их применение дает наибольшие преимущества перед противником. Так, при стандартном наборе T-90 обладает наибольшими преимуществами перед Abramsом на дистанциях около 4 км, в то время как Abrams, с дополнительным набором датчиков обстановки, обладает наибольшими преимуществами перед T-90 на дистанциях около 6 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для трансформации современных боевых платформ и системы их управления в современную пространственно распределенную интеллектуальную смарт-грид сеть необходимо их объединение автоматизированными системами обмена информацией с указанием приоритетности и степени опасности отдельных элементов обстановки для каждой из платформ. Система передачи телеметрической информации об обстановке может быть построена на основе имеющихся на объектах техники КВ и УКВ радиостанций.

2. Для повышения надежности и живучести распределенной интеллектуальной сети информационные дат-

чики отдельных платформ необходимо строить, используя поля различной физической природы (электромагнитные и акустические), разных диапазонов длин волн (от сотен нанометров для оптического диапазона до десятков метров – для радиодиапазона и акустических волн). Кроме того необходимо применять различные методы зондирования окружающей среды как активные с излучением специальных сигналов, так и активно-пассивные – основанные на приеме вторичных полей создаваемых отражение от объектов техники существующих источников излучения наземного и космического базирования, а также пассивные – основанные на использовании собственных оптических, тепловых и акустических излучений объектов техники. Это позволит повысить информативность каналов поступления информации об обстановке и живучесть самих объектов техники в условиях воздействия на них противной стороны.

3. В дополнение к применяемым на объектах БТТ оптическим и инфракрасным системам, необходимо использовать акустические средства разведки и целеуказания, которые могут обеспечить обнаружение объектов техники (наземной и воздушной) и вооружений противника на удаленностях до 10 км.

4. Для получения информации об окружающей обстановке могут использоваться вторичные поля, создаваемые объектами техники противника при отражении сигналов подсветки вещательных станций КВ диапазона, спутниковых и наземных систем телевидения и вещания. Их использование может позволить обнаруживать движущиеся объекты наземной и воздушной техники на удаленностях в единицы километров.

5. Необходимо создание автоматизированных каналов обмена информацией между отдельными участниками сцены, а также командованием, и систем отображения информации как собственных датчиков, так и полученной от других участников сцены и командования с указанием потенциальной степени опасности, а также пассивные – основанные на приеме собственного излучения объектов в оптическом, инфракрасном диапазонах электромагнитных волн, а также собственных акустических шумов объектов военной техники.

6. Использование для подсветки обстановки излучений вещательных КВ станций и собственных радиостанций объектов бронетехники может позволить обнаруживать высотные воздушные цели на удаленностях свыше 10 км.

7. Комплексование систем обнаружения, использующих физические поля различных диапазонов и природы позволяет повысить вероятность обнаружения средств противника, а значит и эффективность борьбы с ними.

8. Построение роботизированных комплексов вооружения встроенных в смарт-грид систему распределенного интеллекта позволит повысить их жи-

вучесть и эффективность применения в условиях противодействия противнику.

Литература

- [1] *Кравченко В.Ф.* Смарт грид технологии - основа модернизации системы водоснабжения / В.Ф. Кравченко, Е.В. Кривенко, С.А. Левченко, В.И. Луценко, С.В. Плюта // Доклады Национальной Академии Наук Беларуси, Технические Науки 2015, Май-Июнь, Т. 59, №3. – С. 102–108.
- [2] *Кравченко В.Ф.* Смарт грид технология - основа модернизации системы водоснабжения для будущего устойчивого развития общества / В.Ф. Кравченко, Е.В. Кри-венко, С.А. Левченко, В.И. Луценко // Физические основы приборостроения 2015. – Т. 4, № 1. – С. 12–29.
- [3] NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0. Февраль 2012. Авторы: NIST (Национальный институт технологий и стандартизации, США), Государственный коммерческий департамент США. Концепция и дорожная карта по стандартам взаимодействия для Smart Grid.
- [4] Крылатая противокорабельная ракета П-700 Гранит (ЗМ-45) / Информационно - новостная система «Ракетная техника» // Электронный ресурс <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/granit/granit.shtml>.
- [5] Противокорабельная ракета Яхонт (Оникс) / Информационно - новостная система «Ракетная техника» // Электронный ресурс <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/jakhont/jakhont.shtml>
- [6] Танк Т-14 "Армата" или Т-99 "Приоритет" / Новости ВПК // Электронный ресурс <http://vpk.name/library/f/armata.html>
- [7] *Бирюков И.Ю.* Анализ приоритетов систем наземной разведки по обнаружению объектов вооружения и военной техники / И.Ю. Бирюков, Ю.М. Бусяк, А.В. Шульга // Інженерні, технічні, програмні засоби, комплекси та системи, Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. 2015. Вип. 2 (26). – С. 81–87.
- [8] Информационные технологии создания пространственно-временных модемов многопозиционных активно-пассивных радиолокационных систем / Ю.Н. Седышев, В.А. Тютюнник // Прикладная радиоэлектроника. – 2015. – Т. 14, № 1. – С. 105–110.
- [9] *Лобочко С.Е.* Построение системы обнаружения с использованием излучения УКВ и ТВ–передатчиков / С.Е. Лобочко // Международная научная конференция «Излучение и рассеяние ЭМВ» ИРЭМВ*2003, труды конференции, Таганрог, 2003. – С. 287–290.
- [10] *Луценко И.В.* Бистатистические РЛС с подсветкой ионосферными сигналами связанных станций коротковолнового диапазона / И.В. Луценко, И.В. Попов, В.И. Луценко // Радиофизика и электроника: Сборник научных трудов / НАН Украины. Ин-т радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова. – Харьков.-2007. – Т.12, №1. – С. 193–204.
- [11] *Lutsenko I.V.* Illumination of Air Environment Using Radiation of SW Broadcasting stations / I.V. Lutsenko, V.I. Lutsenko, I.V. Popov // The 5-th European Radar Conference, 30–31 October 2008: conf. proceedings.-Amsterdam, 2008. – P. 396–399.
- [12] *Попов И.В.* Освещение воздушной обстановки с использованием излучения вещательных станций КВ диапазона / И.В. Попов, В.И. Луценко, И.В. Луценко. // "Современные проблемы радиоэлектроники" Сборник научных трудов. Под редакцией Громыко А. И., Сарафанова А. В. ; М. Радио и связь. 2006. – С. 25–28.
- [13] *Вичкань А.В.* Пассивная когерентная радиолокация в коротковолновом диапазоне. Часть 1. Обнаружение воздушных целей. / А.В. Вичкань, П.А. Мельняковский, А.И. Шуть // Радиофизика и электроника. – 2010. – Т. 15, №1. – С. 72–77.
- [14] *Луценко В.И.,* Мониторинг воздушной обстановки с использованием излучения вещательных станций коротковолнового диапазона / В.И. Луценко, И.В. Луценко, И.В. Попов// Изв. Вузov Радиофизика. – 2015. – Т. 58, № 1. – С. 10–20
- [15] *Лауш А.Г.* Использование излучений глобальных навигационных спутниковых систем для решения задач радиолокации и дистанционного зондирования / А.Г. Лауш, В.И. Луценко, И.В. Луценко, Д.О. Попов // 2014 24th Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014). 7–13 September, Sevastopol, Crimea, Russia P. 1149–1150.
- [16] *Лауш А.Г.* Использование излучений глобальных навигационных спутниковых систем для решения задач радиолокации / А.Г. Лауш, В.И. Луценко, И.В. Луценко // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника, Том 58, № 11 (2015). – С. 14–26
- [17] *Красько А.С.* Поддержка принятия решений по обеспечению общественной безопасности на городских территориальных объектах на основе оперативного анализа аудиоинформации: автореф. дис. на соискание научн. степени кандидата технических наук: спец. 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах / А.С. Красько. – Уфа, 2011. – 16 с.
- [18] *Смирнов В.* Маскировка подвижных наземных объектов в современных условиях // Электронный ресурс.- http://samlib.ru/s/smirnow_wasilij/masikirovka.shtml. – 2013.
- [19] *Мокрушин Д.* Акустические системы обнаружения / Д. Мокрушин // Электронный ресурс. - <http://twower.livejournal.com/502014.html?thread=14595326>.
- [20] *Луценко В.И.* Дальность действия и разрешающая способность пассивных акустических систем разведки / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк //5-й международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2014 14-17-октября 2014г.: сб. научн. трудов МРФ-2014. – Т.1 «Интегрированные информационные радиоэлектронные системы и технологии».- Харьков. – 2014. – С.41–44.
- [21] *Луценко В.И.* Пассивные акустические системы разведки, дальность их действия и разрешающая способность / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк // Інтегровані технології та енергозбереження, щоквартальний науково-технічний журнал. Харків: НТУ «ХПІ»,. – 2014, № 3. – С. 60–64.
- [22] *Луценко В.И.* Дальность действия систем акустической разведки / В.И. Луценко, И.В. Луценко, А.В. Соболяк // Прикладная радиоэлектроника, 2015. – Том 14, № 2. – С. 125–136.
- [23] *Кравченко В.Ф.* Рассеяние радиоволн морем и обнаружение объектов на его фоне / В.Ф. Кравченко, В.И. Луценко, И.В. Луценко // М. Физматлит, 2015. – 448 с.
- [24] *Луценко В.И.* Об эффектах, которые могут приводить к возрастанию ЭПР малоразмерных объектов в декамет-

ровом диапазоне / В.И. Луценко, И.С. Тургенев, С.И. Хоменко // Радиофизика и электроника: Сборник научных трудов / НАН Украины. Ин-т радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова. – Харьков. – 1997. – Т. 2, № 1. – С. 60–63.

- [25] *Lutsenko V.I.* Frequency Dependences of Scattering Matrices in the Resonance Domain / V.I. Lutsenko, S.Y. Tolstel. // *Telecommunication and Radio Engineering*. – 2001. – V. 55, № 4. – P. 33–39.
- [26] Теоретические основы радиолокации. / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 559 с.
- [27] Вербa (ПЗРК) [Электронный ресурс] // Википедия — свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%B0_\(%D0%9F%D0%97%D0%A0%D0%9A\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D1%80%D0%B1%D0%B0_(%D0%9F%D0%97%D0%A0%D0%9A)).
- [28] «Вербa» против «Стингера»: новейший российский ПЗРК не имеет аналогов в мире [Электронный ресурс] // Медиагруппа «Звезда». – Режим доступа: <https://tvzvezda.ru/news/forces/content/201506200927-cnrm.htm>.
- [29] Стрела-10 [Электронный ресурс] // Википедия — свободная энциклопедия. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%B0-10>.
- [30] Корнет (ПТРК) [Электронный ресурс] // Википедия — свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82_\(%D0%9F%D0%A2%D0%A0%D0%9A\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82_(%D0%9F%D0%A2%D0%A0%D0%9A)).
- [31] Противотанковый ракетный комплекс FGM-148 Javelin [Электронный ресурс] // Информационно - новостная система «Ракетная техника». - Режим доступа: <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/javelin/javelin.shtml>.
- [32] Танк М1А2 Абрамс ТТХ [Электронный ресурс] // Оружие. Вооружение России и мира. - Режим доступа: <http://oruzhie.info/tanki/51-m1a2-abrams>.

Поступила в редколлегию 18.12.2017



Луценко Владислав Иванович, доктор физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник, Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. Область научных интересов: распространение и рассеяние радиоволн, дистанционное зондирование природных сред, радиолокация.



Луценко Ирина Владиславовна, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. Область научных интересов: дистанционное зондирование тропосферы Земли с использованием излучения наземных и спутниковых радиосистем, исследование обратного рассеяния радиоволн СВЧ и КВЧ подстилающими поверхностями, гидрометеорами и антропогенными образованиями.



Соболяк Александр Васильевич, начальник отдела электрооборудования, Государственное предприятие «Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова». Область научных интересов: радиолокация, разработка радиотехнических систем и комплексов в акустическом и радиодиапазонах.

УДК 621.396.96:621.271.029.65

Використання смарт-грід технологій для підвищення ефективності застосування об'єктів наземної техніки / В.І. Луценко, І.В. Луценко, О.В. Соболяк // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2017. – Том 16, № 3, 4. – С. 134–146.

Розглянуто можливість побудови інтелектуальних мереж з окремих об'єктів наземної техніки і за рахунок цього підвищення ефективності їх застосування та живучості. Особливе значення має підвищення інформативності каналів отримання інформації про зовнішню обстановку шляхом об'єднання інформаційних потоків каналів, що використовують різні фізичні поля (акустичні, електромагнітні тощо). Оцінені дальності виявлення для різних датчиків і результат, одержуваний від їх комплексування.

Ключові слова: смарт-грід технології, інтелектуальні мережі, об'єкти наземної техніки.

Табл.: 06. Іл.: 05. Бібліогр.: 32 найм.

UDC 621.396.96:621.271.029.65

Using smart grid technologies to improve the efficiency of application of ground-based equipment objects / V.I. Lutsenko, I.V. Lutsenko, A.V. Sobolyak // *Applied Radio Electronics: Sci. Journ.* – 2017. – Vol. 16, № 3, 4. – P. 134–146.

The possibility of constructing intelligent networks from separate objects of ground-based equipment and at the expense of this increasing the efficiency of their application and survivability is considered. Of particular importance is the increase in the information content of channels for obtaining information about the external situation by combining information flows of channels using different physical fields (acoustic, electromagnetic ones etc.). The detection ranges for various sensors and the result obtained from their integration are estimated.

Keywords: smart grid technologies, intelligent networks, ground-based equipment objects.

Tab.: 06. Fig.: 05. Ref.: 32 items.