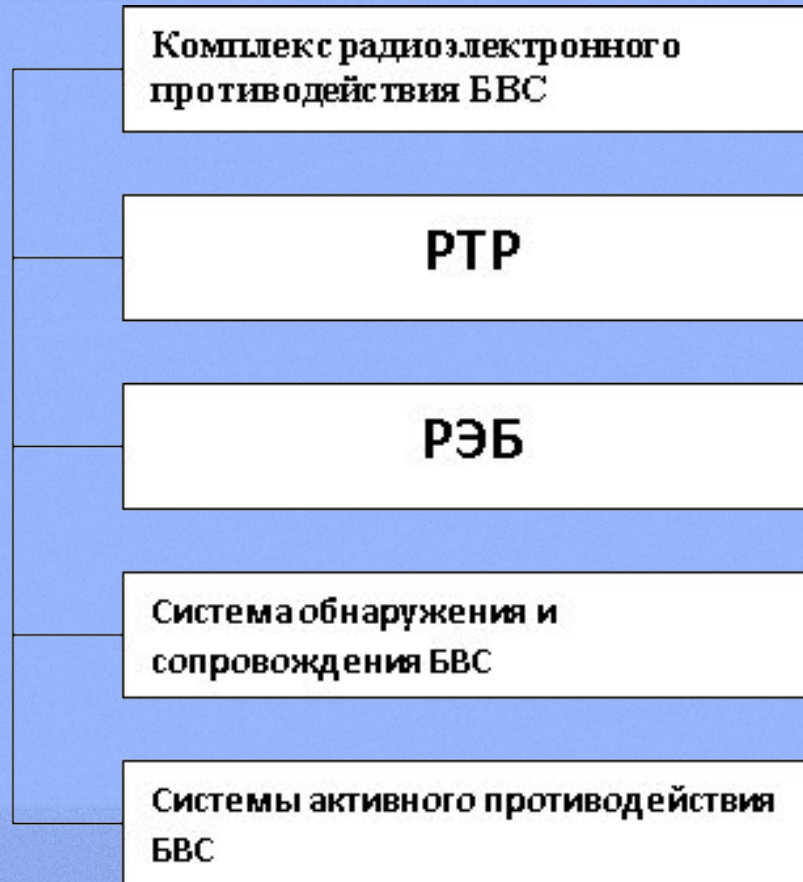


**федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский центр «Охрана»
Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации**

**Принципы построения оптимального комплекса
радиоэлектронного противодействия беспилотным
воздушным судам (БВС) гражданского применения и
критерии квалификационного отбора оборудования**

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

Комплекс радиоэлектронного противодействия БВС (структурная схема)



Примечание:

РТР - радиотехническая разведка
(системы радиопеленгации
излучения БВС)

РЭБ - радиоэлектронная борьба

РЭБ (структурная схема)

РЭБ

Генераторы на фиксированный диапазон частот для подавления :

1. Стандартных глобальных навигационных систем:

GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo.

2. Типовых каналов сотовой связи:

CDMA, GSM, 4G, 5G, LTE, Wi-Fi, Wi-Max и т.д.

3. Каналов спутниковых систем связи:

Инмарсат, Иридиум, Starlink, MUOS, WGS.

4. Безлицензионных каналов связи диапазона:

433 МГц; 868-916 МГц и т.д.

Генераторы помех с перестройкой частоты:

1. Средств радиосвязи диапазона 20-80, 135-174, 400-470 МГц;

2. Авиационной радиосвязи в диапазоне 220-400 МГц и ДМВ-диапазона;

3. Иных нестандартных каналов связи управления и навигации БПЛА.

При этом средствами радиотехнической разведки (РТР) эти каналы должны быть вскрыты в режиме реального времени и переданы на подавления РЭБ.

Примечание:

Обратите внимание на количество каналов необходимых для подавления.

Совершенство РЭБ определяется возможностью одновременного подавления всех этих каналов для не менее 3 одновременно атакующих БВС.

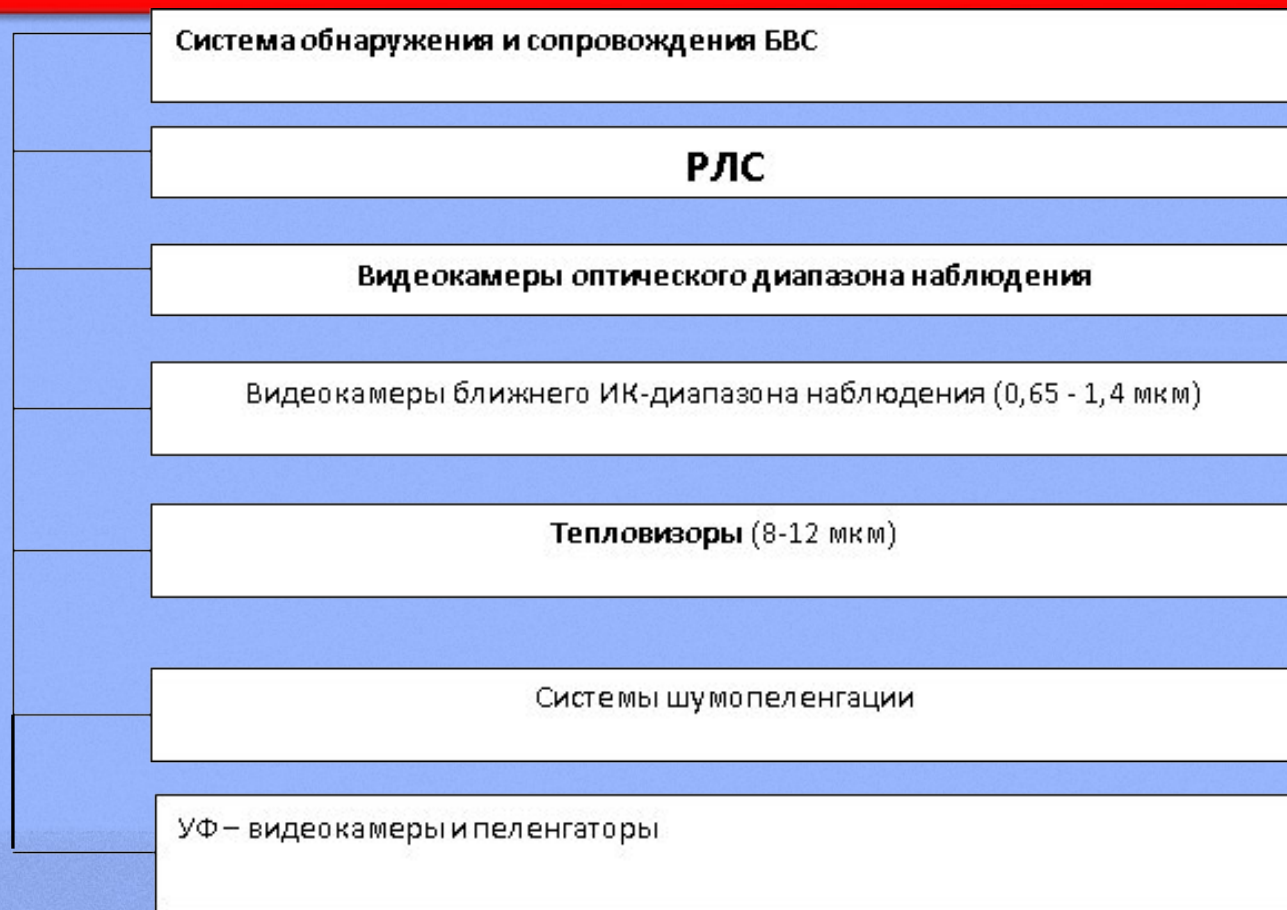
MUOS (Mobile User Objective System)

- новая американская сетевая система спутниковой связи / стандарт связи военного назначения.

WGS — Wideband Global SATCOM system,

сокр. высокопроизводительная спутниковая система связи Минис-терства обороны США.

Система обнаружения и сопровождения БВС (структурная схема)



Резонансные способы определения БВС (РЛС)

Резонансные способы определения БВС основанной на известном явлении резкого возрастания амплитуды, отраженного от летательного аппарата (ЛА) зондирующего радиосигнала сигнала с длиной волны, равной удвоенному значению размера корпуса ЛА и/или резонирующих элементов, например крыльев и подвесных конструкций, см. (1).

$$\lambda = 2 \cdot L, \quad (1)$$

где L - геометрический размер ЛА и/или его конструктивных резонирующих элементов (крыльев, фюзеляжа, подвесных конструкций).

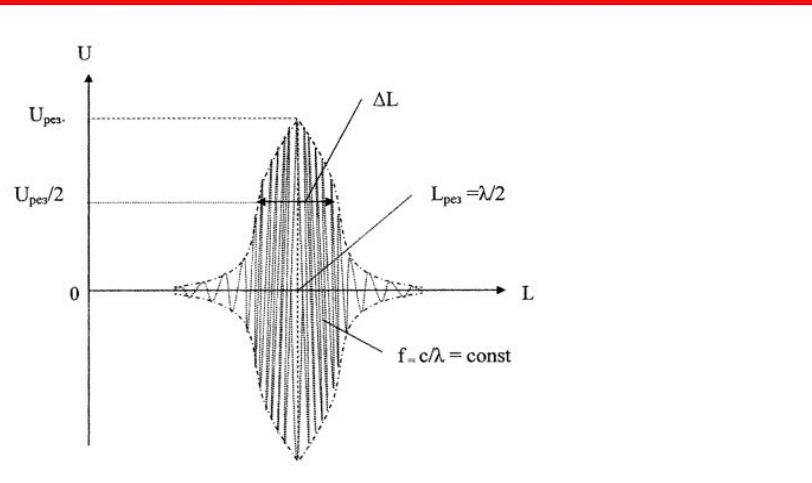
Положительным качеством резонансной радиолокации является **увеличенная (≥ 10) величина отраженного радиосигнала** по сравнению со значением эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) при диффузном отражении радиосигнала от ЛА.

Резонансные способы определения БВС (РЛС)

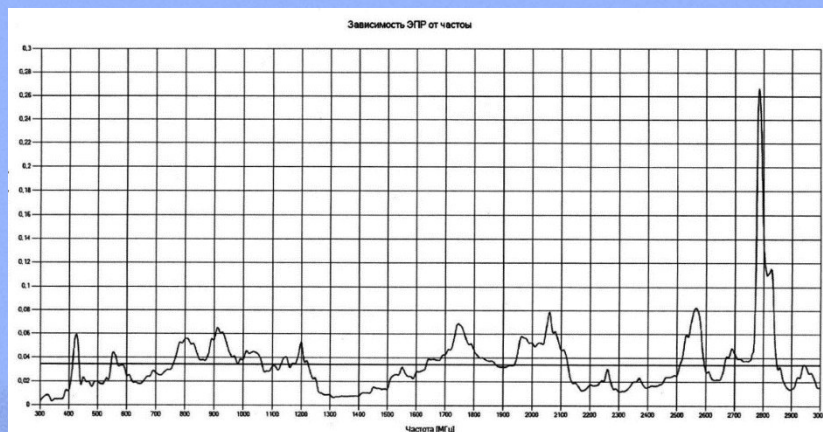
Указанный результат, (увеличения отклика при изменении частоты), достигается тем, что базовую начальную частоту зондирования предлагается выбрать равной 150 МГц, а перестройку вести до 6 ГГц. С каждой пачкой радиопульсов несущую частоту увеличивают на 10 МГц.

После анализа отражений на различных частотах и выявления факта возникновения, превышающего порог спектрального отклика на одной из частот излучение переводится из режима с перестройкой частоты в одночастотный режим, соответствующий по частоте наличию спектрального отклика от малозаметного БПЛА.

<https://patents.google.com/patent/RU2534217C1/ru>



Эффект резонанса при приеме отраженного от БВС сигнала



Зависимость ЭПР от частоты излучения РЛС

Использование сверхшикополосных РЛС и РЛС со сложномодулированными сигналами

1. ВЕСТНИК НОВГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА №4(116)МАЛОГАБАРИТНАЯ РЛС Х/Л-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ/СОПРОВОЖДЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БПЛА
Н.Е.Быстров, И.Н.Жукова, Н.А.Кунец, В.М.Реганов, С.Д.Чеботарёв
(РЛС с использованием шумоподобного амплитудно-фазоманипулированного сигнала)



Пример – РЛС "СМЕРЧ" от "Ролос". Ожидаемая дальность по БВС с ЭПР $0,01\text{м}^2$ – 2 км.

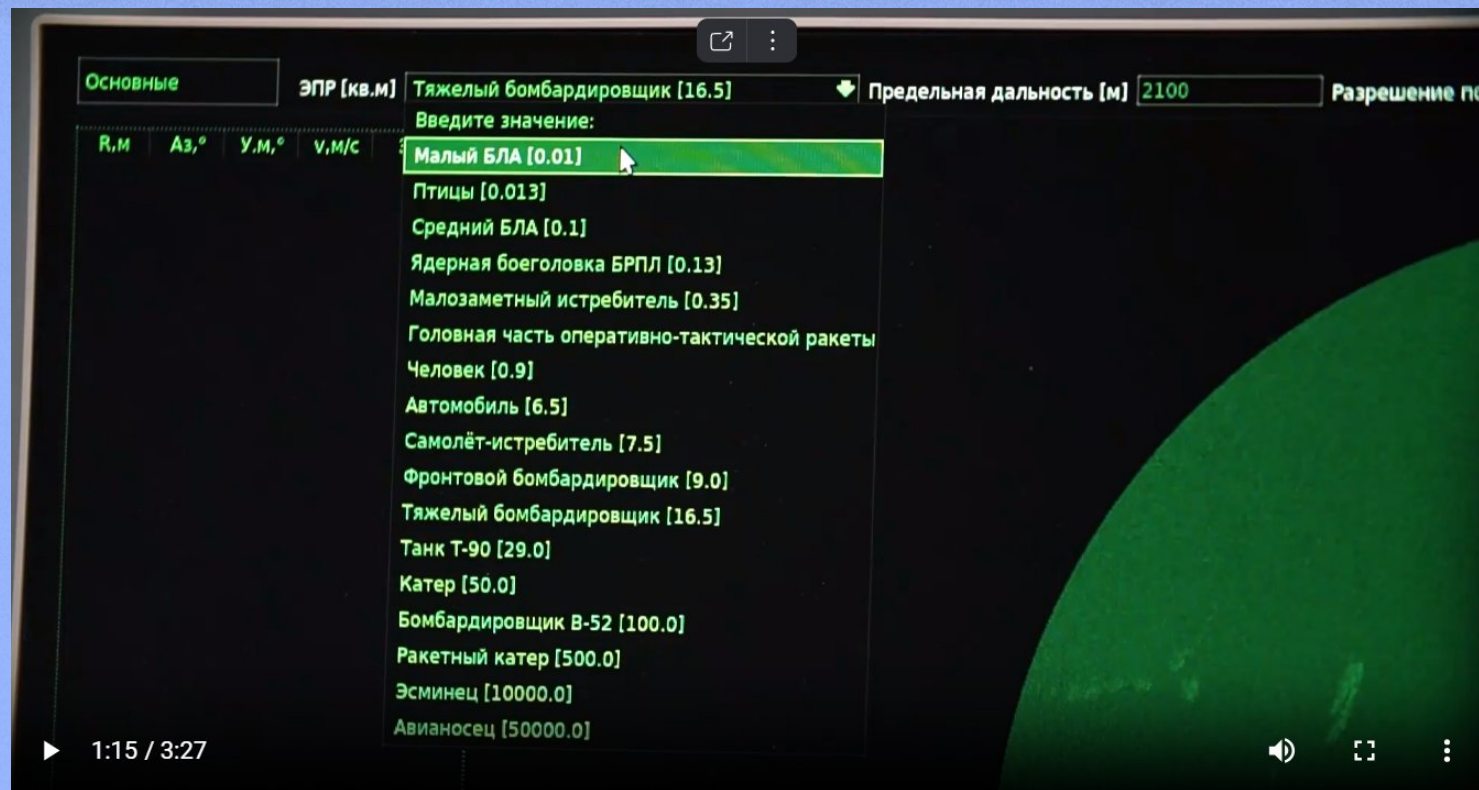
Использование сверхшикополосных РЛС и РЛС со сложномодулированными сигналами

Технические характеристики РЛС "Смерч"

Диапазон рабочих частот ППМ	1 - 13.5 ГГц (выбирается пользователем)
Диапазон рабочих частот УМ и антенны *	8 - 12 ГГц
Тип зондирующего сигнала	ансамбль OFDM, ансамбль ЛЧМ, шумовой, ультракороткий импульс (выбирается пользователем)
Ширина полосы	0.26 - 12.5 ГГц (выбирается пользователем)
Минимальная рабочая ЭПР	0.001 м ²
Мощность передачи	1 мВт - 200 Вт (выбирается пользователем)
Дальность обнаружения БПЛА с ЭПР 0.1 м ² при R _{вых} = 200 Вт, K _у = 30 дБ	12.6 км
Минимальная рабочая дальность	0 м.
Разрешение по времени	200 пс
Разрешение по дальности	4 см.
Ширина диаграммы направленности антенны	1° азимут, 30° угол места,
Точность определения угловых координат	0.3° азимут, 2° угол места АФАР

* - могут быть поставлены иные литеры по требованию заказчика;
** - зависит от текущей задачи локатора.
<https://rolos.ru/radar>

Использование сверхшикополосных РЛС и РЛС со сложномодулированными сигналами



АРМС РЛС "СМЕРЧ"

Радиолокационный комплекс 117Ж6 РЛК-МЦ «Валдай»



Главный элемент комплекса – обзорный трехкоординатный радиолокационный модуль, работающий в X-диапазоне (длина волны 3 см). Зеркальная антенна устанавливается под радиопрозрачным куполом и вместе с ним может подниматься над крышей контейнера. РЛС обеспечивает круговой обзор при углах места от 0° до 30° . Минимальная дальность обнаружения – 300 м.

УФ - камеры



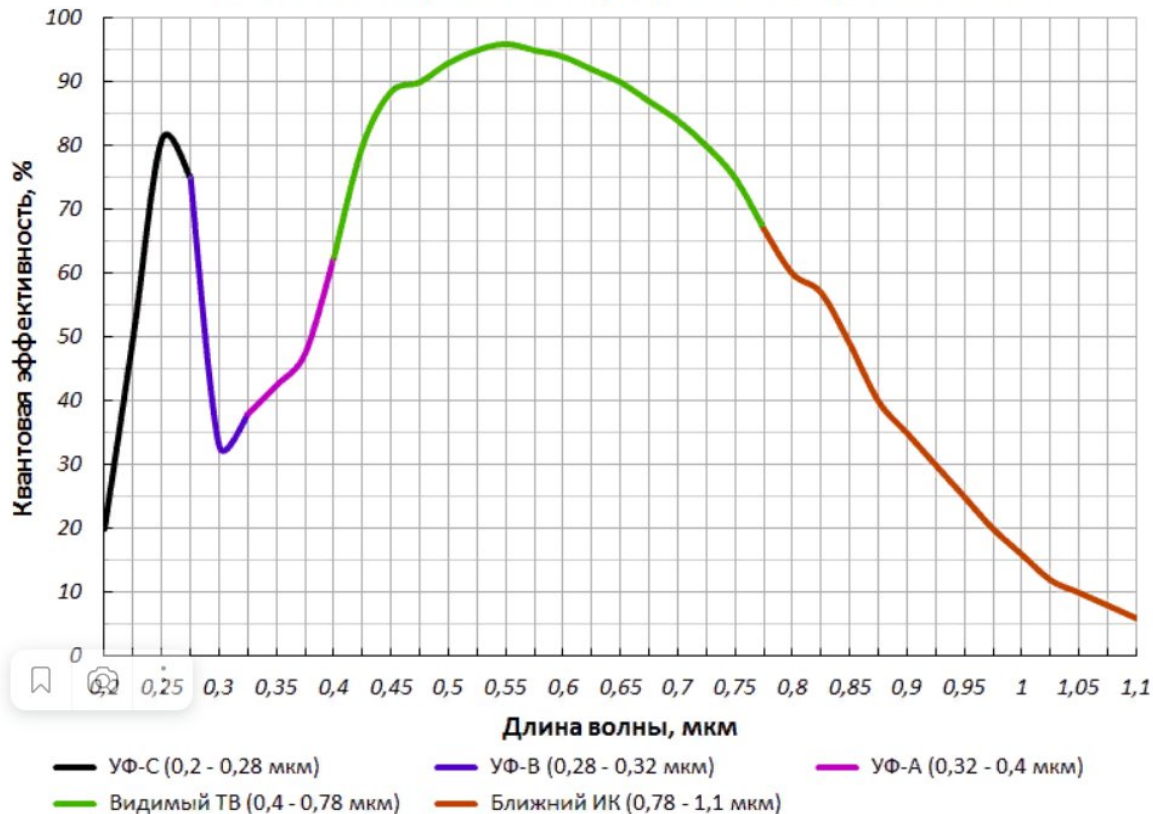
УФ камера RT-2400UV
расширенного спектра 0,2 - 1,1 мкм

Основные технические характеристики

Характеристика	Значение
Тип фотоприёмного устройства	КМОП матрица обратной засветки
Количество пикселей	2048 × 2048
Геометрические размеры пикселя, мкм	11 × 11
Спектральный диапазон, мкм	0,2 .. 1,1
Квантовая эффективность	81% – 0,25 мкм, 96% – 0,55 мкм, 35% – 0,9 мкм
Динамический диапазон, дБ (бит)	93 (12)
Темновой ток, е ⁻	1,6
Интерфейс с ПЭВМ	Шина PCI-e 4x
Внешний интерфейс	CoaXpress
Оцифровка изображения, бит	8, 12
Кадровая частота, Гц	24 / 48
Встроенный ЦОС процессор	Altera Cyclone IV
Встроенная память: DDR2, МБ	256
Аппаратные функции обработки изображения	Контрастирование, рекурсивное накопление от 1/2 до 1/256, весовое сложение и вычитание смежных кадров или текущего кадра с кадром в памяти, автоматическая настройка усиления, биннинг 2×2
Электронные регулировки	Яркость, контрастность, время экспозиции
Подключение внешних устройств	JTAG (программирование), RS-485, LVTTTL – 4 линии
Электропитание, В	9 .. 18
Потребляемая мощность, Вт	15

УФ - камеры

Спектральные диапазоны цифровой камеры RT-2400UV



Источник: <https://russiandrone.ru/catalog/poleznaya-nagruzka/uf-kamery/rt-2400uv-wide-spectral/>

УФ - камеры



Пример свечения БВС в ультрафиолете

Другим достоинством УФ-диапазона наблюдения является тот факт, что в нём обнаруживается БПЛА, производящий атаку со стороны Солнца (в этом случае, наблюдение в оптическом диапазоне невозможно, а в ИК-диапазоне - крайне затруднительно).

Солнце является мощным источником УФ-излучения, и при атаке со стороны Солнца БПЛА своим корпусом будет экранировать УФ-поток (так называемое наблюдение в обратном контрасте).

В ночное время УФ-наблюдение требует внешней подсветки. В качестве такого источника могут выступать бытовые газонаполненные лампы УФ-лампы или лазеры УФ-диапазона.

Системы активного противодействия БВС

Системы активного противодействия БВС

Кинетическое поражение цели осколками зенитного снаряда или зенитной ракеты

Перехват БВС дроном-истребителем

Разрушение корпуса БВС лазерным излучением

Поражение электроники БВС электромагнитным импульсом взрывного генератора

Поражение электроники БВС мощным микроволновым излучением

Поражение или "засветка" оптикоэлектроники БВС лазерным излучением

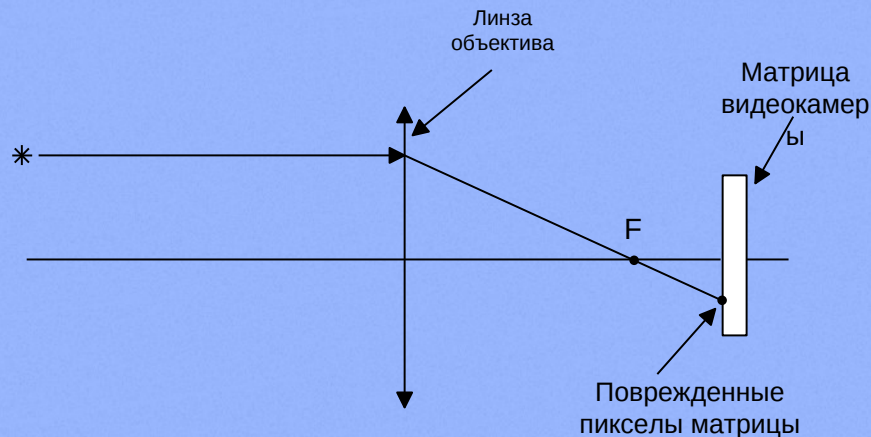
Поражение или "засветка" оптикоэлектроники БВС лазерным излучением

Засветку видеокамер возможно осуществить лазерной указкой с мощностью всего 10 мВт.

При отклонение луча лазерной указки на 30° от оптической оси объектива вероятность полной засветки резко уменьшается, а при угле в 45° и более градусов полностью отсутствует.

Таким образом, для гарантированной засветки видеокамеры лучом лазера надо чтобы оптические оси источника и объектива видеокамеры совпадали.

При использовании лазерного излучения с мощностью от 2 Вт и выше приводит к «выжиганию» отдельных пикселей матрицы видеокамеры. Выжигание отдельных пикселей матрицы, а не всей матрицы объясняется тем, что лазерная указка для матрицы видеокамеры является точечным источником и соответственно проецируется на матрицу в виде точки (реально изображение лазерного излучателя занимает 2-3 пиксела на матрице), и соответственно прожигаются эти 2-3 пиксела, см. рис.



Поражение или "засветка" оптикоэлектроники БВС лазерным излучением

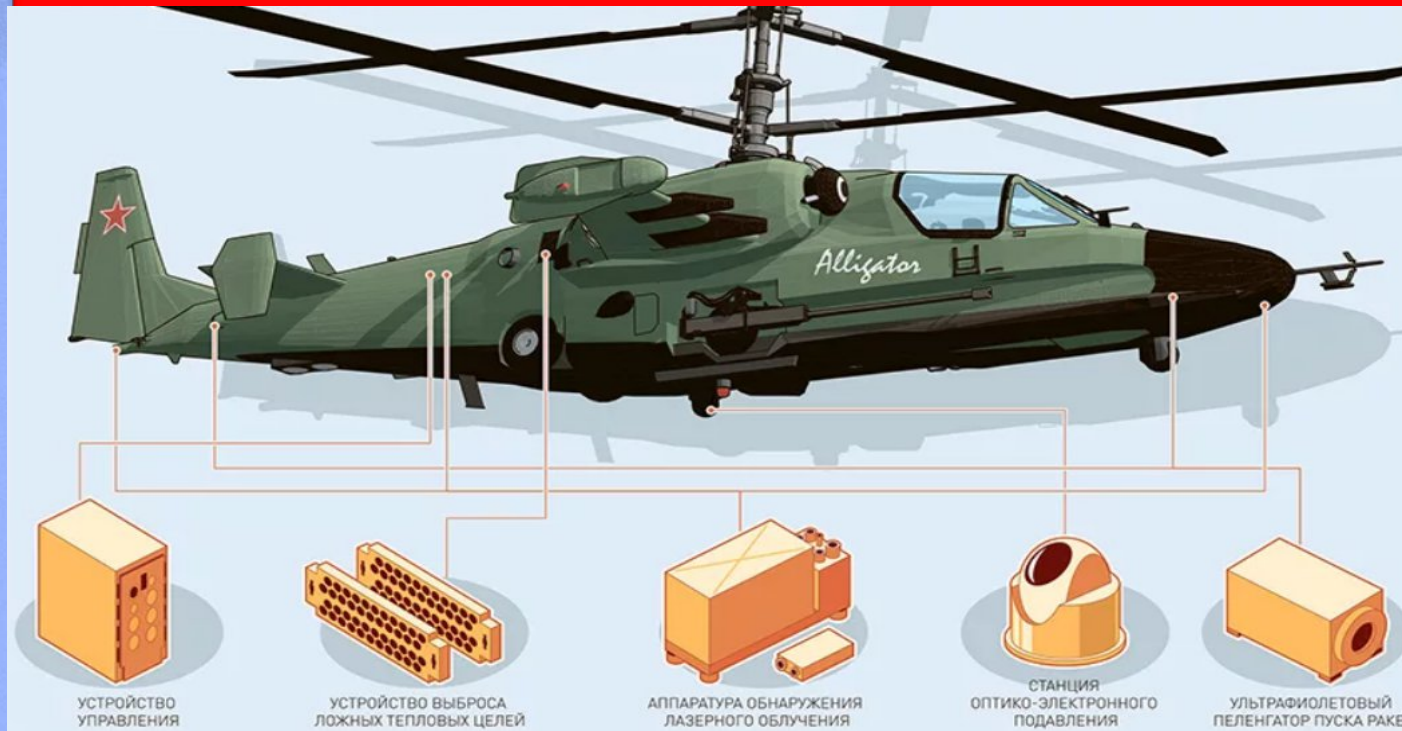
Изменение оптической оси источника излучения от оптической оси объектива на 30° и более градусов не приводит к прожиганию матрицы видеокамеры из-за рассеивания излучения в линзах объектива, однако, при этом наблюдается 100% засветка.

Снижение уровня освещенности цели наблюдения приводит к увеличению эффекта засветки от лазерной указки из-за большого коэффициента автоматической регулировки усиления (APУ) в видеокамере. Наибольшей устойчивостью к внешней засветке обладают видеокамеры, оснащенные WDR.



Комплексе "Рать« Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех

Поражение или "засветка" оптикоэлектроники БВС лазерным излучением



Лазерная станция оптико-электронного подавления комплекса «Президент-С»

Поражение электроники БВС мощным микроволновым излучением

В области **Поражение электроники БВС мощным микроволновым излучением** видится перспективным создание наводок длительностью 3-5 сек на электронные компоненты БВС, что приведет к программным и аппаратным сбоям его оборудования.

Другой подход - создания СВЧ импульсов длительностью 200-270 пс шириной 2-3 ГГц с напряженностью поля 1,4 кВ/м. (Такой импульс приводит к пробое радиоэлементов).

В другой работе указывается, что поражении средств радиосвязи БВС достигается СВЧ импульсами 0,5- 4,5 нс, мощностью 1 ГВт с частотой следования 1-100 Гц.

Несмотря на большую импульсную мощность, средняя мощность воздействия достаточно умеренная (около 500 Вт).

Критерии квалификационного отбора оборудования

1. Критерии отбора оборудования является системной проблемой, общепринятых методик и единого подхода к этому вопросу не существует.
2. Для решения этой задачи надо создавать модель нарушителя. (для Курской и Белгородской области – одна модель нарушителя, для г. Москвы – другая модель нарушителя и т.д.).
3. Исходя из модели нарушителя заказчик должен формировать ТЗ.
4. Часто производитель берется помогать заказчику в составлении ТЗ и подгоняет ТЗ под возможности своего комплекса технических средств противодействия БВС, (далее – комплекс) , это неправильно и недопустимо. ТЗ должно отражать потребности и задачи потребителя.
5. Поскольку всё требования развернутого и подробного ТЗ один головной производитель комплекса редко может удовлетворить необходима кооперация с другими производителями (один производитель имеет развитую РТР и РЭБ, другой – РЛС, третий – оптико-электронный комплекс и т.д.).
6. Выбор оборудования под требования ТЗ должен происходить на конкурсной основе.
7. Основные технические решения и параметры комплекса должны быть проверены на натуральных испытаниях. Аналогичное оборудование от различных производителей должно проверяться в идентичных условиях (летное поле, одинаковый уровень внешних помех, идентичные тестовые БВС и т.д.)
8. Должна быть разработана согласованная методика проверка комплекса (как на предварительных натуральных испытаниях, так и при сдачи комплекса в эксплуатацию).
9. Заказчику должна быть представлена визуальная картина: эффективной зоны действия РТР и РЭБ, «мертвых» зон РЛС, зон обнаружения и сопровождения оптико-электронным комплексом.