

# ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ЗЕНИТНЫМ УПРАВЛЯЕМЫМ РАКЕТАМ С ИНФРАКРАСНЫМ НАВЕДЕНИЕМ

## СОВРЕМЕННЫЕ БОРТОВЫЕ СРЕДСТВА



**Проблему защиты летательных аппаратов от зенитных управляемых ракет с инфракрасным наведением очень образно выразил обозреватель американского журнала *Journal of Electronic Defense* в виде загадки, которую приходится в боевых условиях решать пилотам самолетов и вертолетов: “Длинное и тонкое, при пуске горячее, как преисподняя, и может лететь со скоростью, соответствующей числу Маха  $M=2$  и больше. У вас примерно пять секунд для ответа на этот вопрос, причем правильный ответ не сделает вас миллионером, но может спасти вашу жизнь”.**

Зенитные управляемые ракеты (ЗУР) с инфракрасным (ИК) наведением продолжают оставаться наиболее эффективным оружием против самолетов. Закономерно, что по мере развития средств противодействия этому оружию идет непрерывное совершенствование ИК-техники самонаведения ЗУР. Так, по сравнению с ЗУР первого поколения (к ним относят ракеты советского производства “Стрела” и американского – Stinger, запускаемые с портативных установок) в новых усовершенствованных ЗУР применены улучшенные материалы для детекторов, обеспечившие переход работы от ближней ИК-области спектра (длина волны 1–2 мкм) к средней (3–5 мкм), которой соответствует наиболее мощный тепловой сигнал, формируемый факелом газов двигателя атакуемого летательного аппарата (ЛА) при всех его ракурсах относительно атакующей ЗУР. Диапазон 3–5 мкм характеризуется также меньшим затуханием в атмосфере и меньшим уровнем помех. Кроме того, для подавления тепловых шумов и повышения рабочих характеристик детектора используется охлаждение (обычно жидким азотом) головки самонаведения. Далее, в новых ЗУР увеличены скорость сопровождения и маневренность, расширено поле зрения, усовершенствованы алгоритмы наведения, повышены кинематические характеристики.

Все это позволяет расширить параметры перехвата и переходить от углов подхода к цели сзади (когда мишень – горячие части двигателя) к любым углам (спереди, сбоку и сзади) при ограниченном обзоре горячих деталей или факела. Поскольку зона перехвата удвоилась и даже утроилась, возможно обнаружение и сопровождение целей с большими сигнатурами на расстоянии свыше 10 км для ЗУР из пор-

тативных ракетных установок и гораздо дальше – для ЗУР воздушного боя. Более совершенные ракетные двигатели позволили увеличить дальность действия ЗУР портативных зенитных установок до 6–8 км, а ЗУР больших размеров – до 10–20 км. Таким образом, проблема защиты ЛА от ЗУР с ИК-наведением остается очень сложной.

### СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОТ ЗУР С ИК-НАВЕДЕНИЕМ

Разработка средств противодействия ракетам с ИК-наведением составляет часть своеобразной игры в “кошки-мышки”. Традиционно для введения в заблуждение и создания помех ракетам с ИК-наведением используются ИК-ловушки (трассеры) и источники ИК-помех. Чтобы выполнить свою роль, обычные сбрасываемые магниевые ИК-ловушки должны иметь отношение “помеха/сигнал” (J/S) выше единицы. Для соответствия сигнатуре самолета температуру факела ловушки приходится делать очень высокой. В ответ разработчики ракет с ИК-наведением, используя факт, что источники помех и ИК-ловушки работают при гораздо более высоких температурах, чем температура ЛА, создают головки самонаведения, стойкие к таким средствам противодействия. В детекторах применены новые материалы, такие как антимонид индия, с высокой чувствительностью в диапазоне 3–5 мкм, который отстоит от диапазонов максимума излучения ИК-ложных целей и источников помех. Уменьшено также поле зрения (FOV) головок самонаведения, что, в свою очередь, вынудило разработчиков ИК-ловушек создавать ложные цели с более быстрым воспламенением и ближе к защищаемому самолету.

В более совершенных головках самонаведения для обеспечения дискриминации самолета от ловушки применяют отдельный детектор. В такой “двухцветной” головке выходной сигнал второго детектора, работающего в ближнем участке ИК-диапазона, сравнивается с выходным сигналом основного детектора, который работает в средней части ИК-диапазона. При этом предполагается, что самолет создает более слабый сигнал в ближнем участке ИК-диапазона, чем ИК-ловушка.

Все увеличивающееся число новых методов контрпротиводействия затрудняет использование ИК-ловушек для защиты от ракет с ИК-наведением. Уже в течение долгого времени разработчики средств противодействия прикладывают большие усилия для того, чтобы получить достаточно большое отношение J/S от небольших источников помех. Вначале были разработаны источники ИК-помех, которые эффективны в борьбе с относительно простыми сканирующими головками самонаведения ЗУР первого поколения, работающими в ближнем участке ИК-диапазона. Это были простые маломощные источники помех с модуляцией на частоте сканирования головки наведения. В качестве их основного элемента использовались дуговые лампы и графитовые стержни, а модуляция производилась механическими прерывателями.



Сейчас ведутся работы по созданию направленных источников помех, например направленных зеркальных систем с источниками в виде ламп-вспышек для установки в турелях. Однако ввиду малой эффективности и громоздкости этих систем некоторые разработчики обратились к лазерным источникам, способным обеспечить сфокусированную энергию помехи в ИК-диапазоне излучения самолета. Хотя лазерные источники в среднем участке ИК-диапазона считаются маломощными и технически несовершенными, за последние годы и здесь появились определенные достижения. Так, лазеры на  $\text{CO}_2$  с удвоением частоты обеспечивают мощность в пределах нескольких милливатт. Уже готовы к применению источники на полупроводниковых лазерах.

Разработана концепция станции помех на лазере, способной перекрыть все диапазоны работы ИК-головок самонаведения ЗУР, обеспечить очень высокий уровень энергии помехи и использовать получаемую в полете информацию для выбора оптимальной модуляции. Эта концепция названа "ИК-лазерное противодействие с замкнутым контуром обратной связи" и исследуется по программе создания интегральной системы противодействия электронно-оптическим и ИК-средствам (ЕО/IRСМ ИТТР) научно-исследовательской лаборатории ВВС США AFRL. В станции будут использоваться новые методы обработки и сопровождения для оптимизации помеховых кодов в отношении специфических ЗУР. Это обеспечит точную ориентацию лазерного луча на определенную ЗУР с высоким значением отношения J/S. По плану, станция должна быть испытана в 2000 финансовом году. Если испытания пройдут успешно, новая технология явится основой для совершенствования направленных источников помех.

В соответствии с программой ЕО/IRСМ ИТТР проводятся также исследования по использованию направленной энергии высокоэнергетических лазеров для вывода из строя детекторов тепловизионных головок самонаведения. В более отдаленной перспективе предусматривается использование мощных лазеров для нанесения катастрофических повреждений головкам самонаведения или элементам конструкции ЗУР. Новое направление в развитии методов ИК-противодействия – применение мощных микроволновых колебаний – может стать наиболее надежным решением проблемы.

### **БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ПРИБЛИЖЕНИИ ЗУР**

Однако наиболее сложные проблемы противодействия ЗУР с ИК-наведением связаны с предупреждением о приближении ракеты к защищаемому самолету. Находящиеся на вооружении системы предупреждения (MAWS) имеют ограниченную дальность обнаружения и характеризуются высоким уровнем ложных тревог. Системы MAWS начали поступать на вооружение в 80-е годы для защиты вертолетов и транспортно-боевых самолетов сил специального назначения от ЗУР с ИК-наведением, запускаемых с таких портативных установок, как "Стрела" и Stinger. Первые системы MAWS были громоздкими, имели большие выступающие головки с датчиками, что делало их малоприменимыми для установки на истребителях (считалось также, что портативные зенитные установки не представляют серьезной угрозы для истребителей). К настоящему времени системы MAWS стали более компактными. Стало также очевидным, что портативные зенитные установки препятствуют безопасному выполнению операций на малых и средних высотах. Поэтому большая часть новых военных самолетов оснащена системами MAWS или их установка предусмотрена на таких самолетах.

Основные требования, предъявляемые к системам MAWS – это обеспечение своевременного предупреждения и высокая надежность предупреждения. Пуск ЗУР с ИК-наведением с портативной установки производят без помощи РЛС, поэтому предупреждение не может основываться на обнаружении радиолокационного сигнала. Даже при пуске ЗУР с максимального расстояния время полета ракеты до момен-

та поражения самолета не превышает десяти секунд, в течение которых необходимо успеть включить диспенсер для разбрасывания ИК-ложных целей и выполнить маневры по уклонению от поражения ракетой. Отсюда – предупреждение должно выдаваться быстро, и очень важно, чтобы вероятность ложных тревог была низкой.

Другие требования зависят от типа самолета, выполняемого задания и предполагаемого типа противодействия. Для такого самолета завоевания превосходства в воздухе, как истребитель F-22, наибольшую угрозу могут представлять ЗУР воздушного боя, пускаемые с истребителя, находящегося на средней высоте. Атака в этом случае может производиться с любого азимута и любого угла места относительно истребителя F-22. Ракета воздушного боя имеет по сравнению с ЗУР портативной установки более высокую скорость, поэтому необходима большая дальность обнаружения.

С другой стороны, для ЛА, выполняющих полеты на малой высоте (для вертолетов), не требуются MAWS с большой дальностью обнаружения, а нужны очень чувствительные системы, которые могут быстро обнаруживать ЗУР в условиях воздействия помех от местных предметов.

Наиболее жесткие требования предъявляются к MAWS, устанавливаемым на борту тактического истребителя-штурмовика, выполняющего операции по подавлению наземных целей. Вследствие высокой скорости и быстрого маневрирования такого истребителя положение ЗУР относительно него может изменяться со скоростью в несколько сотен градусов в секунду. Для обеспечения сферического перекрытия система MAWS такого самолета должна иметь возможность передавать данные сопровождения ракеты от одного датчика MAWS к другому. Важное значение имеет также интеграция MAWS с инерциальной системой, дисплеями в кабине летчика и бортовой аппаратурой радиоэлектронного противодействия.

В общем случае системы MAWS подразделяются на активные и пассивные. Активные системы представляют собой импульсно-доплеровские РЛС, среди преимуществ которых – большая дальность, обнаружение ЗУР в любых погодных условиях, а также снижение вероятности ложных тревог с помощью изменения порога обнаружения. К недостаткам можно отнести возможность создания помех их работе, возможную неэффективность против ЗУР с малой эффективной площадью рассеяния и, что наиболее важно, их демаскирующее действие за счет излучения сигналов, по которым может быть произведено наведение противорадиолокационных ракет.

В свою очередь, пассивные системы MAWS не излучают сигналов. Состоят они либо из одного датчика, либо из группы датчиков, которые обеспечивают фиксированное наблюдение за определенным сектором пространства или сканирование более обширного пространства. Их очень широкий электромагнитный спектр позволяет выбирать для контроля любое излучение ракеты. При этом некоторые из этих излучений могут быть "преднамеренными", которые, например, связаны с работой обзорных РЛС и РЛС наведения, а также с работой миллиметровых и лазерных целеуказателей. Некоторые же излучения – "непреднамеренные". Они охватывают диапазон от ультрафиолетового (УФ) излучения от очень горячих ракетных ускорителей до более коротковолнового участка ИК-излучения от выхлопных газов самолетных реактивных двигателей или ракет и до длинноволновой части ИК-диапазона, связанной с относительно холодными ведущими кромками самолета или ракеты, летящей с дозвуковой скоростью. Такие пассивные MAWS различаются по рабочим характеристикам в неблагоприятных погодных условиях и при вероятности ложных тревог. Сложные системы используют обычные приемники предупреждения о радиолокационном облучении для обнаружения работы РЛС системы наведения ракеты с активным принципом или работы механизма взрывателя го-

ловной части, которые передают эту информацию на систему MAWS. Бортовой датчик также может направлять сигнал на пассивную систему MAWS при обнаружении лазерного сигнала, указывающего на то, что самолет облучается системой целеуказания.

Однако пассивные системы также не свободны от недостатков. Так, многие используемые в них датчики необходимо охлаждать, что усложняет систему и снижает ее ремонтпригодность (правда, есть сообщения о том, что самые новые датчики не требуют охлаждения). Кроме того, пассивные системы MAWS подвержены воздействию помех, а точность выдаваемой ими информации о дальности низка.

В отношении пассивной системы MAWS представляет также интерес режим работы детектора – со сканированием или с использованием неподвижной решетки. В системе со сканированием большое поле зрения может быть достигнуто с помощью соответствующим образом сконструированной оптической подсистемы. Эта подсистема сканирует большое пространство и фокусирует выходной сигнал на отдельный детектор или на узкую линейку детекторов. Для системы такого типа требуется относительно небольшое число детекторов, поэтому при их изготовлении можно избежать проблем, связанных с выходом годных детекторов и их однородностью по параметрам. Здесь уместно отметить, что с усовершенствованием технологии выращивания кристаллов появилась возможность успешно изготавливать крупные решетки детекторов.

Неподвижные решетки детекторов, называемые также решетками в фокальной плоскости, работают при полном отсутствии или наличии всего лишь нескольких движущихся частей. Изображение потенциальной цели, получаемое с помощью такой неподвижной решетки детекторов, позволяет иметь пространственные и временные отличительные признаки цели, что обеспечивает больший объем данных для ее распознавания и подавления помех.

Не касаясь стоимости, размеров и потребляемой мощности электропитания, можно отметить, что на ЛА следовало бы устанавливать как активную, так и пассивную системы предупреждения. В таком случае пассивные системы (со сканированием и с использованием решетки детекторов в фокальной плоскости) использовались бы для раннего предупреждения о потенциальной угрозе. В лучшем случае такие системы могут обнаруживать вспышку двигателя через несколько милли-

секунд после пуска. Последующее пассивное сопровождение позволяет определить, представляет ли ракета угрозу для ЛА. Если установлено, что ракета направляется в сторону защищаемого ЛА, подключается активная система MAWS для определения дальности и получения более точных угловых данных.

Обнаруженная “горячая точка” в ИК-спектре может относиться как к приближающейся ракете, так, например, и к солнечным лучам, отраженным от поверхности воды. Далее, эхо-сигналы доплеровской РЛС приходят не только от обнаруженной ЗУР, но также и от стаи птиц. Функция дискриминации безвредных и потенциально опасных источников возложена на процессор MAWS. Проблему подавления помех приходится решать в любой системе предупреждения, причем делается это различными способами. Например, можно разработать алгоритмы, которые будут распознавать помеху по ее большей пространственной протяженности по сравнению с протяженностью цели. Дополнительные возможности по дискриминации случайных тепловых источников и ракетного двигателя могут быть получены путем контроля в двух или более оптических и ИК-участках. Пространственная и временная дискриминация используется для обновления сцены и для обеспечения возможности работы схем распознавания и подавления помех. Все это помогает снизить вероятность ложных тревог и оценить степень угрозы со стороны ЗУР.

Данные о разработанных бортовых системах MAWS представлены в таблице.

Сегодня почти все системы MAWS используют пассивные электрооптические датчики, которые работают в одном или нескольких диапазонах УФ-части спектра, в средней или длинноволновой части ИК-диапазона. УФ-датчики – небольшие и дешевые, не требуют для своей работы охлаждения, обнаруживают УФ-излучение от двигателей ракет, что позволяет снизить вероятность ложных тревог от воздействия горячих объектов на земной поверхности. Однако УФ-излучение поглощается озоном в верхних слоях атмосферы, что снижает дальность действия системы предупреждения о ЗУР воздушного боя. Одноцветные или двухцветные ИК-датчики (последние используют длинноволновую и средневолновую части ИК-спектра) – более эффективны, но дороже и сложнее для установки.

**Бортовые системы предупреждения MAWS**

Система	Компания (страна)	Диапазон	Режим работы	Особенности	Платформа
AAR-44/44A	BAESystems/ Raytheon (США)	ИК	Сканирование	–	MC-130, AC-130
AAR-47	Lockheed Martin/Alliant Defense (США)	УФ	–	–	Вертолеты
AAR-54/PMAWS (пассивная система)	Northrop Grumman (США)	УФ	Решетка в фокальной плоскости	Датчик с высоким разрешением	C-130, SH-70
AAR-57/ CMWS	Sanders (США)	УФ	Решетка в фокальной плоскости	Визуализация	F-15,-16,-18, AV-8, C-17, AH-64
AAR-58	BAESystems/ Raytheon (США)	ИК	Сканирование	На основе AAR-40	–
AAR-60 MILDS (система обнаружения пуска ракет)	DaimlerChrysler (интернациональный проект)	УФ	Решетка в фокальной плоскости	Визуализация	NH-90, JAS-39
DAIRS (ИК- система с распределенной апертурой)	Northrop Grumman (США)	ИК	Решетка в фокальной плоскости	–	X-35
DASS 2000	Lockheed Martin (США)	ИК	–	–	Истребитель Eurofighter
DDM	Matra/SAT (Франция)	ИК	–	–	–
Guitar 300	Rafael (Израиль)	УФ	Решетка в фокальной плоскости	Большая оптическая головка	Вертолеты, транспортные самолеты
Guitar 350	Rafael (Израиль)	УФ	Решетка в фокальной плоскости	Большая оптическая головка	Истребители
MAK/LO-82	“Росвооружение” (Россия)	ИК	Сканирование	–	Sy-24, Sy-35, Ty-22M3
MAW-200	Avitronics Pty. Ltd. (ЮАР)	УФ	–	Без охлаждения	–
MILDS II	DaimlerChrysler (Германия)	УФ	–	Визуализация	–
MIMS 2000	Northrop Grumman (США)	ИК	–	Двухцветный датчик/FPA	Tornado, Harrier, Jaguar
MSWS	Avitronics Pty. Ltd. (ЮАР)	УФ	–	Входит в состав аппаратуры предупреждения	Вертолеты, истребители
PAWS	Elisra (Израиль)	ИК	–	–	Вертолеты
SAMIR	Matre BAe (Франция)	ИК	Решетка в фокальной плоскости	Решетка в фокальной плоскости	–



До 1995 года лишь относительно небольшое число ЛА было оснащено системами MAWS, к которым относились AAR-44 (вариант 44А имеет программируемый процессор) и AAR-47 (рис. 1).

В системе AAR-54 используются низкопрофильные УФ-датчики, причем почти полное сферическое перекрытие обеспечивается с помощью шести таких датчиков. Система подает сигналы на станцию направленных ИК-помех AN/ALQ-24, которая в Великобритании известна под названием Nemesis. МО Великобритании планирует оснастить системой AAR-54 до 15 типов вертолетов и самолетов военной транспортной авиации. Эта система будет также устанавливаться на 16 самолетах S-70B Seahawk ВМС Австралии и на самолетах командования сил специального назначения США C-130. Возможна ее установка и на самолетах CV-22. Систему предлагают также для использования в составе устанавливаемой в пилоне комплексной системы разбрасывания ИК-ложных целей PIDS+, которая предназначена для самолетов F-16 датских ВВС.



**Рис. 1. Пассивная система AN/AAR-47, устанавливаемая на вертолетах и транспортных самолетах**

В 1995 году система AAR-57 была выбрана совместно с перспективной системой ИК-противодействия ATIRCM в качестве стандартного бортового комплекта SIIRCM для использования почти на всех американских военных самолетах и вертолетах. Система прошла испытания, начало закупок намечено на 2000 год. К числу особенностей системы AAR-57 специалисты компании Sanders относят очень небольшие размеры датчика, хорошую фильтрацию помех и подавление ложных тревог. Система может использовать пространственное перемещение цели для отсеивания ложных целей, которые неподвижны или медленно движутся. Электронный блок управления ECU использует алгоритмы подавления ложных тревог, разработанные на основе опыта эксплуатации системы AAR-47. В блок ECU встроены гироскопы для привязки данных, получаемых от датчика, к системе координат. Сам датчик обладает высоким быстродействием и способен в течение короткого времени восстанавливать работоспособность после «ослепления» УФ-излучением от ложных целей или в результате пролета самолета с форсажной камерой. Предусмотрена установка системы почти на 3000 ЛА различных типов, находящихся на вооружении США.

Система AAR-58 – миниатюризированный вариант AAR-44, имеет выступающий купол с датчиком. Поле зрения составляет 270°, точность сканирующей головки достаточна для нацеливания лазерного устройства создания ИК-помех.

Система AN/AAR-60 MILDS II – совместная разработка компаний DaimlerChrysler LFK (Германия) и Litton Applied Technologies (США). Имеются сообщения о том, что Япония закупила аппаратуру этой системы для оснащения вертолетов. Данная система входит также в состав усовершенствованной комплексной системы индивидуальной защиты компании Litton, поставляемой для самолетов F-16 ВВС Греции. Существует также компактный вариант системы для использования в составе PIDS+.

Многодатчиковая система предупреждения MSWS компании Grintek Avitronics (ЮАР), устанавливаемая на вертолетах Огук и Rooivalk, выбрана для оснащения вертолетов Puma ВВС Объединенных Арабских Эмиратов. Возможно также ее использование на вертолетах Super Puma Швейцарии и Nordic Скандинавских стран.

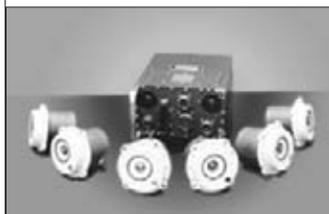
Система PAWS (Израиль) состоит из нескольких датчиков, процессора, дисплея и блока управления. Для полного сферического перекрытия необходимо иметь шесть датчиков, которые монтируются на обшивке ЛА. Каждый датчик, состоящий из решетки InSb-элементов с криогенным охлаждением до температуры 77 К, имеет поле зрения,

несколько превышающее 90°90°. Цифровые данные от всех датчиков в последовательном коде направляются на блок обработки, который обнаруживает все точечные горячие объекты.

Системой предупреждения следующего поколения DAIRS будет оснащаться истребитель, создаваемый по программе Joint Strike Fighter. Система состоит из конформных ИК-датчиков с высоким разрешением, имеющих мгновенное сферическое поле зрения. Изображение от них проходит непрерывную обработку для обнаружения пусков ракет и поступает также на дисплей, вмонтированный в шлем летчика и обеспечивающий наблюдение за ИК-объектами в пределах 360°. Отдельный ИК-датчик переднего обзора обеспечивает предупреждение о ракетах в секторе воздушного пространства впереди самолета.

В борьбе «системы предупреждения против ЗУР с ИК-наведением» победителя нет. Ракеты становятся все более сложными, их все труднее ввести в заблуждение с помощью ИК-ловушек. Они приближаются к защищаемому ЛА все быстрее, с больших расстояний, оснащаются все более мощными боезарядами. С другой стороны, системы предупреждения используют преимущества, предоставляемые небольшими мощными компьютерами и микропроцессорами, а также усовершенствованными датчиками. Возрастает также арсенал средств введения в заблуждение и уничтожения ЗУР.

Системы предупреждения, находящиеся на этапе выработки концепции или проектирования (рис.2), будут использовать указанные преимущества и выполнять алгоритмы принятия решения и программы искусственного интеллекта для минимизации вероятности ложных тревог, обеспечения более быстрого распознавания представляющей угрозу ЗУР и более быстрого принятия ответных мер по защите ЛА. Разрабатываются высокочувствительные датчики для работы в более широком спектральном диапазоне. Для обеспечения поглощения излучения в длинноволновой части ИК-диапазона – от 3 до 20 мкм – могут быть использованы решетки ИК-фотодетекторов с квантовыми ямами QWIP. В таких решетках путем использования материалов различной толщины и состава можно точно задавать спектральный диапазон, а слоистая структура материалов позволяет увеличить поглощение ИК-энергии или создать датчик с несколькими специфическими участками поглощения.



**Рис.2. Система предупреждения о приближении ракеты CMWS, предназначенная для различных военных самолетов и вертолетов США (в стадии разработки)**

Управление НАСА курирует разработку решеток ИК-детекторов для космических телескопов. В таких решетках предполагается использование

микроболлометров из сверхпроводящих материалов и усовершенствованных пирозлектрических датчиков, которые позволяют расширить спектральный диапазон, повысить чувствительность детекторов. В Аризонском университете уже создана решетка MIP (Multiband Imaging Photometer) из 1024 детекторов на длину волны 70 мкм, а также решетка детекторов на 160 мкм. Решетки такого вида в будущем позволят системе предупреждения обнаруживать ракеты по незначительным повышениям температуры, что происходит за счет трения в атмосфере ведущих кромок приближающихся ракет.

- [www.jeddefense.com/jed/html/new/qpr00/technology.html](http://www.jeddefense.com/jed/html/new/qpr00/technology.html)
- [www.jedonline.com/jed/html/new/feb00/ecmon.html](http://www.jedonline.com/jed/html/new/feb00/ecmon.html)
- [www.jedonline.com/jed/html/new/feb99/cover.html](http://www.jedonline.com/jed/html/new/feb99/cover.html)
- [www.jedonline.com/jed/html/new/jul99/technology.html](http://www.jedonline.com/jed/html/new/jul99/technology.html)
- [www.jedonline.com/jed/html/new/dec99/technology4.html](http://www.jedonline.com/jed/html/new/dec99/technology4.html)
- [www.jedonline.com/jed/html/new/oct98/cover.html](http://www.jedonline.com/jed/html/new/oct98/cover.html)