

## В Эдинбурге обсуждаются проблемы поиска мин,

к сожалению,  
актуальные и для России

*М. Гольцова*

*О том, насколько актуальна проблема поиска и обезвреживания мин в современном мире, говорит по истине жуткая статистика: число этих смертоносных устройств находящихся в земле, измеряется сотнями миллионов. Ежегодно к ним прибавляется 2,0—2,5 миллионов мин, устанавливаемых в горячих точках планеты. Обезвреживается в лучшем случае 100 тыс. мин в год. Понятно, что при таких темпах очистить Землю от мин не удастся никогда. Сегодня надежды на решение этой проблемы связывают только с тем, что ученые и разработчики, объединив усилия, смогут обеспечить качественный прорыв в этом направлении.*

**В** октябре прошлого года в Эдинбурге (Шотландия) Конвенция национальных обществ инженеров в области электротехники (EUREL) провела конференцию, посвященную проблеме обнаружения оставленных в земле мин. Пожалуй, впервые в мире эта жизненно важная проблема обсуждалась с точки зрения техники и технологии. В работе Эдинбургской конференции приняли участие несколько сотен специалистов из 21 страны. На конференции отмечалось, что методы поиска мин почти не изменились со времен второй мировой войны. На 100 ложных приходится только одно действительное обнаружение, а миноискатели, по-прежнему выполняемые на основе детекторов металла, бесполезны при поиске неметаллических устройств.

Сегодня перед разработчиками средств обнаружения мин стоят три главных задачи: достижение 100%-ной надежности, сокращение времени и снижение затрат на поиск. В докладах участников конференции были изложены разнообразные пути их решения. Так, по мнению специалистов Объединенного исследовательского центра (ОИЦ) ЕС, современные миноискатели должны быть выполнены на основе нескольких датчиков, например трехосевого индукционного градиентометра, радиолокатора земной поверхности с большой проникающей способностью и тепловизора. Важнейший блок такого искателя — устройство формирования изображения, способное обрабатывать в реальном масштабе времени огромный объем данных, поступающих от датчиков. ОИЦ планирует приступить к выполнению научно-исследовательской программы, цель которой — сократить время поиска и обезвреживания мин на 50% по сравнению с сегодняшним уровнем. На ее реализацию предполагается затратить 65 млн. долл. Программа рассчитана на 30 месяцев: пять — на подготовку проекта, 14 — на разработку основных аппаратных средств, восемь — на объединение отдельных блоков в единую систему и три — на испытание соз-

данной системы. Примечательно, что к участию в программе не будет допущена ни одна фирма, выпускающая мины, хотя они, несомненно, располагают полезной для исследователей информацией.

Программа, направленная на объединение различных датчиков в одном миноискателе, проводится и ВС США, представители которой сообщили о создании ручной автономной системе обнаружения мин — HSTAMIDS. Система выполнена на базе радиолокатора земной поверхности с большой проникающей способностью и детектора металла, смонтированных на ручном держателе и работающих совместно с ИК-датчиком, укрепленным на шлеме оператора. Все данные этих устройств обрабатываются компьютером, находящимся в ранце.

До сих пор один из лучших способов обнаружения мин — использование специально натренированных собак. Немецкая овчарка, например, способна обнаружить тринитротолуол в концентрации до  $5 \cdot 10^{-7}\%$  и находить противопехотные мины на глубине до 5 м от поверхности земли. Однако обучение собак — довольно длительный и дорогостоящий процесс. Кроме того, как всякое живое существо, собака устает, что сказывается на результатах ее работы, иногда роковым образом. Поэтому создание так называемого “технологического носа”, подобного собачьему, стало бы значительным прорывом в области обнаружения мин или неразорвавшихся артиллерийских снарядов.

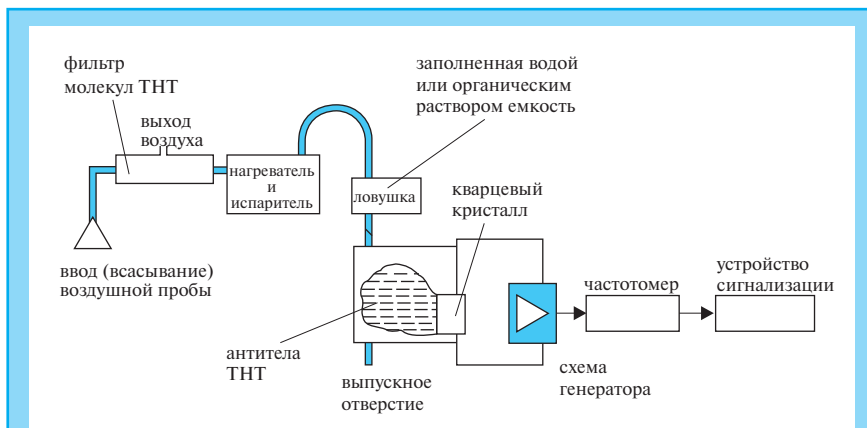
К числу таких устройств можно отнести спектрометр подвижности электронов, использованный группой очистки советских военных и учебных баз на территории бывшей ГДР. Спектрометр засасывает воздух в ионизационную камеру, где молекулы проходят через экранирующую сетку, фокусирующие заряженные кольца, апертуру и попадают в коллектор. Временное распределение тока коллектора соответствует содержанию элементов в пробе воздуха. Устройство достаточно чувствительно для обнаружения мин, но непригодно для полной очистки или проверки ее качества.

По-видимому, лучшее подобие со-

бачьего носа сегодня создано в самом неожиданном месте — на шведской фирме Vofors. Ученые фирмы преуспели в уничтожении “детища” своего основателя Альфреда Нобеля. Как сообщалось на конференции, созданная на базе Vofors новая компания Vofors Applied Technology планировала к столетию со дня смерти своего основателя (декабрь 1996 года) продемонстрировать систему обнаружения взрывчатых веществ с чувствительностью лучше  $10^{-9}\%$ . В системе использован биодатчик, созданный в Израиле. Он представляет собой химическое устройство обнаружения взрывчатых веществ в сжиженных пробах воздуха, взятых с обследуемого участка. Жидкость проходит над кварцевым кристаллом, задающим частоту генератора в диапазоне от 8 до 9 МГц (рис.1). В этом диапазоне частота генератора очень чувствительна к массе резонатора. На кристалл нанесены живые организмы антигел взрывчатого вещества, например тринитротолуола (ТНТ). Если в пробе присутствуют молекулы ТНТ (неметаллические мины непрерывно выделяют пары взрывчатых веществ, а в металлических устройствах утечка паров в зависимости от влажности почвы начинается через несколько недель, максимум через месяц после установки), антигел отделяется от кварцевого кристалла и атакуют молекулы. Чем выше концентрация молекул ТНТ, тем больше антигел покидает кристалл и, следовательно, тем сильнее изменяется частота генератора (достигая 300 Гц).

Для обнаружения других взрывчатых веществ на кристалл наносят смесь требуемых антигел или используют несколько отдельно настроенных кварцевых кристаллов. Если испытания пройдут успешно, Vofors Applied Technology освоит выпуск новой системы к середине 1998 года. По мнению разработчиков, она найдет широкое применение, в частности, в системах безопасности аэропортов и обнаружения взрывчатых веществ и наркотиков.

Главный недостаток системы — необходимость замены или перезарядки



**Рис. 1. Принцип работы системы обнаружения газообразных элементов на базе антителя фирмы Vofors. Масса кварцевого кристалла в присутствии известного взрывчатого вещества меняется**

кварцевого кристалла после получения нескольких положительных результатов, поскольку антитель после реакции с молекулами-хозяевами не возвращается на кристалл. Однако вероятность ложного срабатывания системы исключена, поскольку основная частота генератора соответствует концентрации оставшихся на кварцевом кристалле антитель.

По мнению ученых французской организации SODERN, весьма эффективно можно обнаружить взрывчатые вещества, измеряя концентрацию таких элементов почвы, как углерод, азот, кислород, водород, кремний, кальций и алюминий, с помощью так называемого анализа с опросом быстрыми или тепловыми нейтронами (FNA и TNA соответственно). Как и другие методы ядерной физики, данный метод предусматривает воздействие гамма-излучением на элементы почвы или взрывчатых веществ и регистрацию возбуждаемых нейтронов или гамма-излучения. Для элементов почвы или взрывчатых веществ значение последнего лежит в диапазоне 1—12 МэВ, как в FNA-, так и TNA-режимах. Максимальная глубина измерения, обеспечиваемая этим методом, достаточна для обнаружения мин, хотя и ограничена средней длиной свободного пробега нейтронов и гамма-излучения, а также шумами, обусловленными излучением оборудования и почвы, окружающей мину (табл.). Эти проблемы решаются путем коллимации излучения и выделения временного периода ответного излучения, что упрощает обнаружение элементов, представляющих интерес.

Испытания модели системы обнаружения (рис.2) на базе 1-МэВ нейтронной трубки, излучающей  $10^8$  нейтронов в непрерывном или импульсном режиме, показали, что лучшие результаты и сопоставимые данные измерений в FNA- и TNA-режимах при глубине проникновения 30 см дает импульсный режим. При неработающей нейтронной трубке аппаратура безопасна для оператора: даже если трубка

разобьется, количество высвобождающегося газообразного трития считается безвредным для окружающей среды. Однако защита работающей системы представляет серьезную проблему. В системе с дистанционным управлением масса головки детектора составляет 300—400 кг, а масса самой системы, управляемой оператором, в два раза больше из-за применения средств защиты.

В Королевском колледже Лондона изучаются возможности метода квадрупольного ядерного резонанса (КЯР). Метод основан на том, что в ядре атома элемента в результате облучения возникают переходы между различными энергетическими уровнями. Формирование последних вызвано тем, что заряд во многих ядрах распределен так же, как и в двух встречно-параллельно включенных электрических диполях. Одна ориентация ядер, например атомов азота, может характеризоваться более низким уровнем, чем другая. Ядра с более высоким энергетическим уровнем стремятся ориентироваться по состоянию более низкого уровня. Поскольку ядра имеют спин, они ведут себя как гиромангниты и реагируют путем процессии относительно оси градиента электрического поля. В общем случае существуют три энергетические уровни и разрешены три перехода, частоты которых взаимосвязаны: одно значение частоты равно сумме двух других значений.

Эти частоты заре-

гистрированы для таких основных взрывчатых веществ, как циклотриэтилнитрат (RDX), тетранитрат пентаэритрита (PETP) и TNT. Поскольку химические свойства атомов азота в них различны, частоты отличаются друг от друга. Так, для RDX частоты равны 5,2; 3,4 и 1,8 МГц, для TNT они лежат в диапазоне 730—900 кГц. Для возбуждения межуровневых переходов достаточно импульсного излучения на частоте, равной или близкой к частоте КЯР. Частота получаемого в результате такого возбуждения излучения может регистрироваться в периоды между испусканием импульсов.

Ряд исследователей изучали возможности применения для обнаружения мин различных ВЧ-зондов и антенн. Но пока создание приемлемой для работы системы затрудняет ряд проблем. В частности, необходимо увеличить отношение сигнал/шум для материалов, частота КЯР которых ниже 1 МГц. Кроме того, важно исключить влияние веществ, содержащих азот, и азотистых удобрений на результаты измерений, а также вероятность маскировки кварцем отклика песчаной почвы. Сейчас ведутся интенсивные работы по созданию методов генерации, модуляции и регистрации импульсного излучения, позволяющих получать однозначные результаты измерений.

Интерес собравшихся вызвало сообщение Лоуренса Картера (Университет Аукленда, Новая Зеландия) о возможности применения СВЧ-методов для обнаружения мин. Ученые установили, что воздействие на земную поверхность излучения магнетрона мощностью 750 Вт на частоте 2,45 ГГц в течение 60 секунд вызывает различный нагрев участков над миной и “пустой” почвы. Измерение отражательной способности почв с различной влажностью показало возможность обнаружения предметов на глубине до 25 см. Для реализации системы необходимо решить проблемы временной задержки отклика; ввода СВЧ-сиг-

#### Концентрация элементов в почве и во взрывчатых веществах

Элемент	Концентрация, $10^{22}$ см <sup>-3</sup>	
	Почва	Взрывчатое вещество
Углерод	0,12	2,95
Водород	1,5	6,4
Кислород	6,9	2,56
Азот	*	1,28
Кремний	1,9	**
Кальций	0,038	нет данных
Алюминий	0,056	нет данных

\*Зависит от применяемых удобрений или химикатов

\*\* Зависит от типа корпуса мины (стеклянный или стальной)

нала в почву; вероятности возникновения под воздействием СВЧ-сигнала искрового разряда в схеме срабатывания, а также нагрева любых металлических объектов, находящихся в земле. По утверждению разработчиков, все эти проблемы поддаются решению.

На фирме Thorn Missile Electronics создана радиометрическая система обнаружения мин, работающая в диапазонах 95 и 140 ГГц. Система позволяет выявлять металлические и пластиковые (вследствие изменения диэлектрической постоянной) объекты как на поверхности, так и под землей благодаря моделированию распределения теплового излучения. Оборудование, работающее на столь высокой частоте, достаточно громоздко, зато устойчиво к эхо-помехам.

Национальное управление оборонных исследований Швеции совместно с фирмой Saab изучало свойства теплового излучения и его корреляцию с результатами измерений в диапазоне длин волн 8–12 мкм. Чтобы увеличить вероятность правильной классификации обнаруженных предметов, было проведено обучение нейронной схемы.

Фирма Sagen (Франция) провела испытания ИК-камеры со строчной разверткой и высоким разрешением. Камера была смонтирована на летательном аппарате, находящемся на высоте нескольких метров над поверхностью земли. С ее помощью удалось обнаружить мины на глубине до 35 см. Проводившиеся одновременно испытания ИК-камеры с кадровой разверткой дали менее обнадеживающие результаты.

Наиболее перспективной и отработанной технологией обнаружения зарытых или спрятанных в земле предметов сегодня специалисты считают радиолокацию с высокой проникающей способностью. Вот почему подобным методикам на конференции была посвящена большая часть докладов. Один из главных выводов, который можно сделать на основе этих докладов, заключается в том, что чем ниже частота сигнала, тем больше глубина его проникновения, а для получения высокого уровня детализации изображения и высокой вероятности компенсации эхо-помех необходимо увеличивать ширину полосы сигнала. Наземные радиолокаторы эффек-

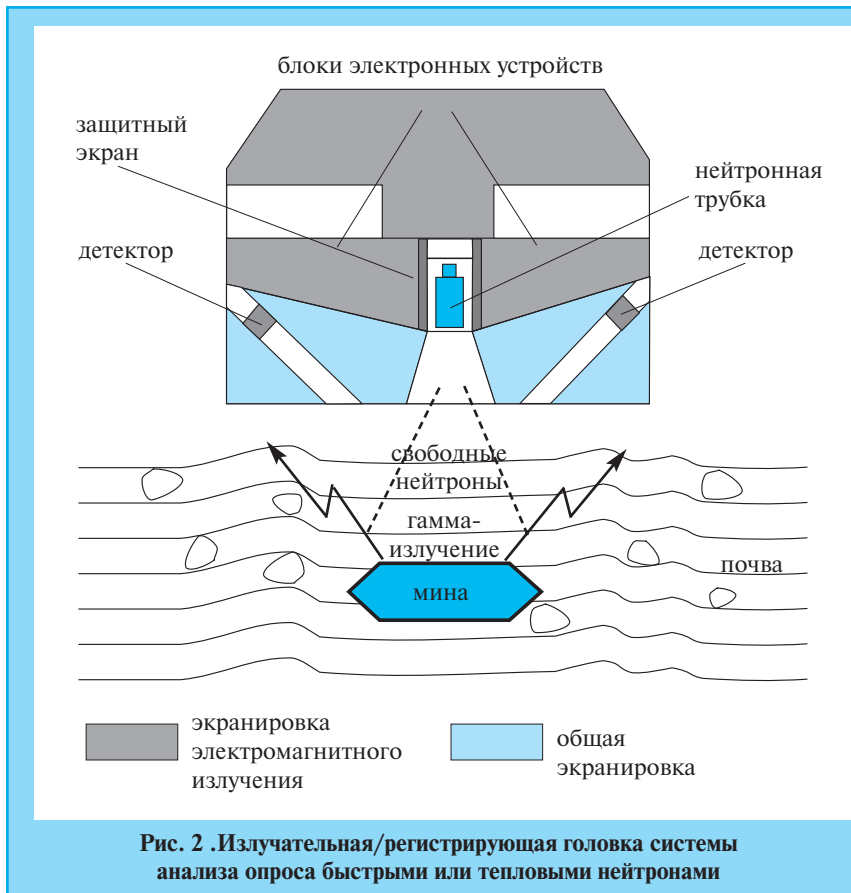
тивны только при использовании очень сложных методов обработки сигнала, причем характерные особенности сигнала искомым объектам должны быть заранее записаны в память системы или введены в нее в ходе обучения в условиях эксплуатации. Проблема в том, что военные, несомненно, располагающие данными практически обо всех когда-либо изготовленных минах, вряд ли будут содействовать определению их отличительных особенностей.

Впервые данные о радиолокационной системе с высокой проникающей способностью (или системе зондирова-

На базе технологии, использовавшейся Королевским институтом, фирма Emrad по контракту с группой газовой Нью-Йорка создала систему обнаружения пластмассовых труб. В ходе ее разработки, длившейся восемь лет, пришлось сменить три варианта аппаратных средств и четыре поколения программных изделий. Этот пример показывает, что создание радиолокационной системы обнаружения мин различных типов может оказаться весьма долгим.

Большое внимание на конференции уделялось антенной технологии, характерным особенностям многоспектрального сигнала и методам фокусировки — непрерывной поляриметрической со ступенчатым изменением частоты, с волновым рассеянием, точечной и т.п. В докладах австралийских специалистов был дан обзор методов детектирования с помощью радиолокационных систем с большой проникающей способностью, работающих в диапазоне частот 800 МГц—3,5 ГГц с наибольшей частотой повторения 65 кГц. По мнению докладчиков, для обнаружения противопехотных мин система должна работать на частотах 4–6,5 ГГц.

Участники конференции с интересом отнеслись к сообщению инженера Споуза, который напомнил о необходимости создания простых в обращении устройств, поскольку пользоваться ими приходится в самых неблагоприятных условиях. В предложенном им миноискателе применен принцип наводки вихревых токов. В искатель Споуза входят индуктивный элемент, катушка которого крепится вертикально на зонде, конденсатор, транзисторная схема и батареи. Индуктивный элемент и конденсатор образуют резонансную схему. При приближении зонда к почве возникают вихревые токи, обусловленные проводимостью почвы, что приводит к уменьшению добротности схемы. Если под зондом оказывается предмет с низкой проводимостью (например, пластиковая мина), потери снижаются и выходной сигнал возрастает.



ния земной поверхности) были опубликованы профессором Университета шт. Огайо Леоном Питерсом в 1979 году, после окончания войны во Вьетнаме. Он показал возможность обнаружения пластиковых мин с помощью простой радиолокационной системы и классического метода прогнозирования и корреляции. Работа по совершенствованию метода существенно продвинулась после Фолклендского конфликта. Используя этот метод, специалисты Королевского института инженеров (Великобритания) успешно справились с обнаружением мин девяти типов (в том числе шести типов пластиковых или с низким содержанием металла, трех типов противотанковых и трех типов противопехотных). Правда, существует мнение, что успех во многом был обусловлен именно небольшим числом типов мин.



Расположенный в земле предмет можно рассматривать как катушку индуктивности с одним витком, резистивной нагрузкой и индуктивной связью с первичной обмоткой зонда. Чувствительность системы зависит от добротности резонансной схемы, которая в свою очередь зависит от частоты и отношения длины катушки к ее диаметру. Добротность может быть увеличена за счет включения катушки в схему с обратной связью, работающую в предельном режиме, когда усиление на резонансной частоте почти равно единице. Чтобы применение такого миноискателя стало

возможным, необходимо обеспечить неизменное расстояние между катушкой и поверхностью земли или создать средство его автоматической корректировки. Важно также расширить области поиска. В противном случае в дополнение к существующим системам длительного поиска металлических мин появится аналогичная система поиска пластиковых взрывных устройств.

Работа конференции показала, что существует множество пригодных для освоения методов поиска мин. Но все они требуют существенной доработки. Запланированная на 1998 год вторая

конференция по этим проблемам — важное свидетельство актуальности работ в данном направлении, требующих объединения усилий разработчиков.

По итогам конференции можно сделать вывод, что наиболее перспективны поиски, основанные на обнаружении выделяемых газообразных веществ, а также средства двойного назначения, которые смогут найти побочное коммерческое применение, например в работе коммунальных служб.

*Electronic Design, 1996, v.44, N25, p.74—78*

*Electronic Design, 1996, v.44, N20, p.31—32*

*Electronic Design, 1996, v.44, N12, p17*

## Лазерный миноискатель

Резервному отряду вертолетов ВМС США в начале 1997 года переданы две системы нахождения поставленных на мертвый якорь или плавающих мин. Система на базе лазерного локатора создана на фирме Kaman Aerospace. Она монтируется в подвесной gondole выпускаемых фирмой вертолетов SH—2G Super Seasprite. В системе обнаружения мин использованы лазер на АИГ:Nd с удвоением частоты и выходной мощностью излучения 20 Вт на длине волны 532 нм фирмы Fibertec, а также ПЗС-камера с усилителем яркости и затвором с переменным временем срабатывания. Последний обеспечивает селекцию принимаемых эхо-сигналов по дальности и измерение глубины залегания мин. Благодаря многократному сканированию исследуемых участков достигнута высокая надежность обнаружения мин и низкая интенсивность ложного срабатывания.

Дисплей приборной панели вертолета воспроизводит в реальном масштабе времени формируемое камерой изображение. Система оснащена и навигационным приемником глобальной спутниковой системы позиционирования (GPS), в функции которого входит корреляция данных GPS-системы и данных формирователя сигнала изображения для точного определения координат цели.

Предложенная технология поиска морских мин отработывалась на протяжении последних десяти лет в ходе создания аппаратных и программных средств. Проведен большой объем испытаний. В конструкции системы предусмотрено множество встроенных средств проверки ее работы. Крепление подвесной gondoly с системой на вертолете занимает четыре часа.

*Laser Focus World, 1997, v.33, N2, p.24,26,28*

## Дайджесты

В последнее время биометрия — наука анализа отпечатков пальцев и других биологических особенностей с целью идентификации личности — набирает силу, о чем свидетельствуют доклады, представленные фирмами Visa, Mastercard, Oracle, Verifone, Harris и Comparator Systems на конференции CardTech/SecurTech 1996 года. Снижение стоимости сканеров отпечатков пальцев и необходимых для их идентификации программных средств позволяет предположить, что средства проверки отпечатков пальцев вскоре будут применяться не только правоохранительными органами и службами безопасности. Они смогут заменить устройства проверки, работающие с паролем или персональными идентификационными номерами, например в дистанционных датчиках распознавания отпечатков пальцев при оказании услуг по приобретению товаров “на дому”.

По оценкам фирмы Authentic, в настоящее время объем продаж устройств сканирования живой ткани составляет 30 млн. долл., поскольку стоимость одной такой системы равна примерно 3 тыс. долл. Когда стоимость упадет до 1 тыс. долл., объем продаж возрастет до 100 млн. долл., а при цене 10 долл. рынок увеличится до 1 млрд. долларов.

Для снижения стоимости многие поставщики систем распознавания отпечатков пальцев обращаются к стандартным средствам обработки сигнала, в том числе компьютерам высших моделей. Другие предпочитают использовать запатентованные аппаратные средства. Так, фирма Printtrak, системы которой предназначены для полицейских отделений и других правоохранительных органов, предпочитает применять вычислительные системы с большим объемом памяти (такие как Alpha с платой ДОЗУ емкостью 1 Гбит) для хранения отпечатков недостаточно высокого качества. Правда, системы коммерческого назначения не требуют столь высокой точности воспроизведения отпечатка, как полицейские и устройства средств безопасности, где большей частью исследуется лишь частичный отпечаток пальца. Потребитель коммерческой системы будет прикладывать свой палец к сканирующему устройству до тех пор, пока его рисунок не будет правильно идентифицирован.

В большинстве устройств распознавания отпечатков пальцев для представления рисунка ткани в цифровом виде используются ПЗС или другие оптические средства преобразования изображения. На базе ПЗС-устройства выполнена система фирмы Comparator Systems, позволяющая получить полный отпечаток пальца. В большинстве других систем для опознания отпечатка сравниваются “созвездия” мелких линий (например, разветвления), имеющие характерный для данного человека рисунок. Предполагается, что эта система будет использована фирмой Mastercard.

В последнее время начали появляться и другие варианты систем получения отпечатков пальцев. Так, в устройстве фирмы Harris предложено использовать интегральную схему на базе емкостных элементов, работающую в режиме сенсорного ввода данных.

*Electronic Engineering Times, 1996, N 902, p.1, 140*

## Американская промышленность электронных компонентов на “минном поле”

Американская общественная группа “Соблюдение прав человека” начала кампанию, направленную на запрет использования в минах продукции электронных фирм. В своем отчете группа назвала 47 американских фирм — поставщиков электронных компонентов, причастных к созданию противопехотных мин. 17 из них (в их числе Motorola, AVX, Hughes Aircraft, Pacific Products, Siliconix и др.) уже объявили о решении прекратить поставки изделий для этих систем, хотя проследить за их применением порой очень трудно. Сейчас Motorola совместно с производителями готовых изделий и дистрибьюторами разрабатывает меры, которые дали бы гарантии неиспользования ее продукции в минах.

Вместе с тем такие фирмы, как General Electric, Lockheed Martin, Raytheon, либо отказались прекратить выпуск изделий для электронных систем мин, либо не ответили на обращение группы. Крупнейший американский поставщик компонентов для мин — фирма Alliant Techsystems, которая выпускает изделия по крайней мере для семи типов мин. Правда, по заявлению ее руководства, изделия фирмы предназначены для так называемых разумных (несмертельных) саморазрушающихся мин. Во всяком случае разработку именно таких изделий предусматривает последний контракт с американской армией.

*Electronic Engineering Times, 1997, N 950, p.14*

## Последние достижения в области устройств идентификации отпечатков пальцев

## Дайджесты

## Дайджесты