



УДК 681.586; 621.3.087.92  
ГРНТИ 47.49.02

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Н.И. МАЙГУРОВА*

*ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

*И.Н. НАЗАРЕНКО, кандидат химических наук, доцент*

*ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

*Г.Л. ФЕДИЙ*

*ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье проведен сравнительный анализ различных типов датчиков регистрации физических параметров окружающей среды, необходимых для функционирования модуля регистрации физических параметров среды, в том числе грозовых разрядов. Рассмотрено применение датчиков в различных условиях. Описаны основные достоинства и недостатки рассмотренных типов датчиков.

*Ключевые слова:* датчики; физические возмущения; окружающая среда; преобразователи.

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT SENSORS REGISTER PHYSICAL PARAMETERS OF THE ENVIRONMENT

*N.I. MAIGUROVA*

*MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

*I.N. NAZARENKO, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor*

*MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

*G.L. FEDII*

*MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

In the article the comparative analysis of different types sensors register physical parameters required for the operation of the module registration of physical parameters of the environment, including lightning discharges is given. The application of sensors is considered under different conditions, the advantages and disadvantages are described.

*Keywords:* sensors; physical perturbations; environment; converters.

**Введение.** Наряду с развитием традиционных видов оружия во многих странах большое внимание уделяется работам по созданию нетрадиционного оружия или оружия на новых физических принципах (ОНФП) [1]. Поражающее действие такого оружия основано на ранее не использовавшихся в оружии процессах и явлениях. К концу XX века в различных стадиях исследований и разработки находились генетическое, геофизическое, инфразвуковое, климатическое, лазерное, ускорительное, озоновое, радиологическое, сверхвысокочастотное, электромагнитное и др. Многие виды ОНФП подпадают под Конвенцию о запрещении военного или любого иного враждебного использования средств воздействия на природную среду [2] и другие международные договоры. Однако, исследования в данной области заставляют решать задачи регистрации, предупреждения и защиты от новых видов угроз. Данная задача может быть решена с помощью создания многофункциональ-



ных модулей регистрации и определения физических возмущений окружающей среды в задачах оповещения, защиты и прогноза поражающего воздействия их источников (включая ядерные взрывы).

**Актуальность.** В конструкцию многофункциональных модулей регистрации физических параметров окружающей среды входят датчики различных типов. На современном этапе разработок таких модулей актуальной является задача выбора наиболее подходящих преобразователей в зависимости от решаемых задач, условий окружающей среды, природы физических возмущений. Для регистрации параметров физических возмущений окружающей среды используются разнообразные датчики физических полей. Для определения оптимального набора и типов датчиков, необходимых для разработки усовершенствованного модуля регистрации физических параметров среды, требуется проведение сравнительного анализа данных типов. Поэтому ниже представлен сравнительный анализ типов существующих датчиков физических полей, которые могут быть использованы для разработки новых мобильных комплексов обнаружения и определения характеристик источников физических возмущений окружающей среды.

Назначение датчиков, входящих в состав модулей регистрации физических параметров, заключается в преобразовании внешнего физического воздействия в электрический сигнал, совместимый с измерительными схемами. Каждый датчик данного типа характеризуется набором входных параметров (любой физической природы) и набором выходных параметров.

Современные датчики регистрации физических параметров среды подразделяются по типу измерения:

- датчики давления;
- датчики вибрации, скорости и ускорения;
- акустические датчики;
- детекторы световых излучений;
- детекторы радиационного излучения;
- датчики температуры;

Основные достоинства и недостатки датчиков регистрации определяют области их применения.

#### *Датчики давления.*

Принцип действия любого датчика давления заключается в преобразовании давления, испытываемого чувствительным элементом, в электрический сигнал. В конструкцию практически всех преобразователей давления входят сенсоры, обладающие известной площадью поверхности, чья деформация или перемещение, возникающие вследствие действия давления, и определяются в процессе измерений. Таким образом, многие датчики давления реализуются на основе детекторов перемещения или силы, причиной возникновения которой является тоже перемещение. Датчики давления подразделяются на 5 основных типов: тензометрические датчики (КНС-преобразователи), пьезорезистивные датчики (на монокристаллическом кремнии), емкостные датчики, резонансные датчики, оптоэлектронные датчики.

Проведя сравнительную характеристику различных типов датчиков давления, были выявлены их основные достоинства и недостатки (таблица 1) [3, 4].



Таблица 1 – Основные достоинства и недостатки различных датчиков, преобразующих давление в электрический сигнал

Достоинства	Недостатки
<b>Тензометрические датчики (КНС-преобразователи)</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая степень защиты от агрессивной среды</li> <li>2. Высокий предел рабочей температуры</li> <li>3. Налажено серийное производство</li> <li>4. Низкая стоимость</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неустраняемая нестабильность градуировочной характеристики</li> <li>2. Высокие гистерезисные эффекты от давления и температуры</li> <li>3. Низкая устойчивость при воздействии ударных нагрузок и вибраций</li> </ol>
<b>Пьезорезистивные датчики (на монокристаллическом кремнии)</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая стабильность характеристик</li> <li>2. Устойчивость к ударным нагрузкам и вибрациям</li> <li>3. Низкие (практически отсутствуют) гистерезисные эффекты</li> <li>4. Высокая точность</li> <li>5. Низкая цена</li> <li>6. Возможность измерять давление различных агрессивных сред</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ограничение по температуре (до 150°С)</li> </ol>
<b>Емкостные датчики</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая точность</li> <li>2. Высокая стабильность характеристик</li> <li>3. Возможность измерять низкий вакуум</li> <li>4. Простота конструкции</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зачастую нелинейная зависимость емкости от приложенного давления</li> <li>2. Необходимо дополнительное оборудование или электрическая схема для преобразования емкостной зависимости в один из стандартных выходных сигналов</li> </ol>
<b>Резонансные датчики</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая стабильность характеристик</li> <li>2. Высокая точность измерения давления</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. При измерении давления агрессивных сред необходимо защитить чувствительный элемент, что приводит к потере точности измерения</li> <li>2. Высокая цена</li> <li>3. Длительное время отклика</li> <li>4. Индивидуальная характеристика преобразования давления в электрический сигнал</li> </ol>
<b>Оптоэлектронные датчики</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Простота</li> <li>2. Низкая температурная чувствительность</li> <li>3. Высокая разрешающая способность</li> <li>4. Высокая точность.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Необходимость встраивания в микропроцессорную систему, на которую возложены функции его линеаризации</li> </ol>

*Датчики вибрации, скорости и ускорения.*

Ускорение – динамическая характеристика объекта. Перемещение объекта, его скорость и ускорение являются взаимосвязанными физическими величинами: скорость – это первая производная от перемещения, ускорение – его вторая производная. Однако взять производную сильно зашумленного сигнала практически невозможно, поскольку это приводит к возникновению очень больших погрешностей даже при использовании очень сложных схем обработки. Поэтому скорость и ускорение объектов нельзя определять по данным, полученным при помощи детекторов перемещений, и для этого необходимо применять специальные схемы. Как правило, в низкочастотной области (в полосе частот порядка 1 Гц) довольно хорошую точность измерений обеспечивают датчики положения и перемещения объектов. В зоне средних частот (менее 1 кГц) уже предпочтительнее использовать датчики скорости. Тогда как на высоких частотах, когда перемещения соизмеримы с уровнем шума, применяются датчики ускорения.

Скорость движения может быть либо угловой, либо линейной. Она показывает насколько быстро объект движется по прямой линии или насколько быстро он враща-



ется. Измерение скорости зависит от размеров объекта и может выражаться, например, в мм/с или миль/час. Принцип действия детекторов скорости и ускорения часто основан на измерении перемещений объекта относительно некоторого эталонного объекта, который часто входит в состав самого детектора. Поэтому чувствительный элемент, реагирующий на перемещение объекта, является одним из компонентов многих датчиков скорости и ускорения. Иногда таких элементов в составе датчиков скорости и акселерометров нет, поскольку они сами преобразуют свое движение в электрические сигналы. Например, в соответствии с законом Фарадея, магнит,двигающийся в катушке индуктивности, приводит к возникновению в ней напряжения. Это напряжение пропорционально скорости движения магнита и силе поля. Линейные датчики скорости построены на этом принципе магнитной индукции. При проведении сравнительного анализа различных типов датчиков вибрации, скорости и ускорения, выявлены их основные достоинства и недостатки (таблица 2) [5–7].

Таблица 2 – Основные достоинства и недостатки различных датчиков, преобразующих вибрации, скорость и ускорение в электрический сигнал

Достоинства	Недостатки
<b>Емкостные акселерометры</b>	
1. Линейность сигнала 2. Воспроизводимость сигнала при калибровке датчика 3. Точность измерений	1. Необходимо компенсировать дрейф различных параметров 2. Необходимость подавлять помехи 3. Выходной сигнал акселерометра зависит от температуры 4. Необходимость проводить калибровку датчиков во всем температурном диапазоне и осуществлять соответствующую коррекцию выходного сигнала
<b>Пьезорезистивные акселерометры</b>	
1. Могут измерять ускорения в широком частотном диапазоне: 0–13 кГц 2. Выдерживают перегрузку, равную 10000 g	1. Имеют высокую температурную зависимость выходного напряжения
<b>Пьезоэлектрические акселерометры</b>	
1. Работают в частотном диапазоне менее 2 Гц–5 кГц 2. Обладают хорошим подавлением внеосевых шумов 3. Высокая линейность 4. Высокая разрешающая способность и чувствительность	1. Обладают небольшим температурным диапазоном (до 120 °С)
<b>Тепловые акселерометры</b>	
1. Менее подвержены влиянию электромагнитных и электростатических помех, чем датчики ускорения емкостного и пьезоэлектрического типа 2. Высокий уровень допустимых перегрузок (до 50000 g) 3. Могут определять и динамическое ускорение (например, вибрации), и статическое ускорение 4. Могут на очень низких частотах измерять субмиллиметровые сигналы ускорения 5. Быстродействие датчика	1. Чувствительность несколько ниже, чем у датчиков ускорений емкостного и пьезоэлектрического типов 2. Чувствительность выходного сигнала меняется при изменении окружающей температуры
<b>Пьезоэлектрические кабели</b>	
1. Длительный срок службы (около пяти лет) 2. Имеет довольно широкий динамический диапазон (>200 дБ), 3. Способен почувствовать вибрации малой амплитуды 4. Линейность выходного сигнала 5. Выдерживают давление до 100 МПа и работают в температурном диапазоне от –40 до +125 °С	1. Реагируют преимущественно на силы, направленные вдоль вертикальной оси 2. Когда такой кабель проложен в грунте, необходимо производить его калибровку



*Акустические датчики.*

Для работы в разных средах используются различные конструкции акустических датчиков. Например, для детектирования волн в воздухе или вибраций в твердых телах применяются микрофоны, а для работы в жидкой среде – гидрофоны. Основное отличие между обычным датчиком давления и акустическим преобразователем заключается в том, что последнему не приходится измерять постоянное или очень медленно меняющееся давление. Его рабочий частотный диапазон начинается с нескольких герц (иногда с десятков миллигерц), а заканчивается в районе нескольких мегагерц для ультразвуковых датчиков, и даже нескольких гигагерц для устройств, реализованных на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

Поскольку акустические волны являются механическими волнами, любой микрофон или гидрофон имеет ту же основную структуру, что и датчик давления: в его состав входит диафрагма и преобразователь перемещений, преобразующий отклонение диафрагмы в электрический сигнал. Для выбора оптимальных типов преобразователей также проведен сравнительный анализ типов акустических датчиков (таблица 3) [8–10].

Таблица 3 – Основные достоинства и недостатки различных датчиков, преобразующих звуковые волны в электрический сигнал

Достоинства	Недостатки
1	2
<b>Электростатические микрофоны</b>	
1. Механическая обратная связь 2. Линейность сигнала 3. Высокий частотный диапазон микрофона	1. Заряд может быть получен только от дополнительного (внешнего или внутреннего) источника питания 2. Низкая чувствительность микрофона 3. Чувствительность к влажности 4. Высокая стоимость
<b>Опволоконные микрофоны</b>	
1. Выдерживают высокие температуры нагрева и сильные вибрации 2. Обладает очень низкой температурной чувствительностью	1. Наличие движущихся механических частей, что снижает точность измерений и чувствительность устройства
<b>Пьезоэлектрические микрофоны</b>	
1. Применяются для преобразования ультразвуковых волн 2. Обладают очень высоким выходным импедансом 3. Обладают очень высоким качеством воспроизведения 4. Не имеют авторезонанса 5. Невысокая стоимость 6. Обладают высокой чувствительностью	1. Имеют невысокий диапазон частот 2. Обладают невысокой чувствительностью
<b>Электретные микрофоны</b>	
1. Для работы не требуется дополнительного источника постоянного напряжения 2. Могут работать в широком частотном диапазоне от $10^{-3}$ Гц до сотен МГц 3. Имеют плоскую частотную характеристику (в пределах $\pm 1$ дБ) 4. Обладают: низким уровнем нелинейных искажений, высокой виброустойчивостью, хорошей реакцией на импульсное возмущение и нечувствительностью к магнитным полям. 5. Применяются для преобразования инфразвуковых волн 6. Обладают высоким импедансом 7. Невысокая стоимость.	1. Поляризация электрета уменьшается во времени и через несколько лет требуется его замена или повторная поляризация





Продолжение таблицы 3

1	2
<b>Твердотельные акустические детекторы</b>	
1. Миниатюрные размеры 2. Устойчивость материалов датчика к внешним факторам (жидкости, газы) 3. Высокий коэффициент электромеханической связи с подложкой	1. Внешние воздействия (влажность, температура, механические удары, вибрации) влияют на фазовую скорость и коэффициент ослабления сигнала 2. Высокая стоимость

*Детекторы световых излучений.*

Детекторы электромагнитных волн, лежащих в спектральном диапазоне от ультрафиолетового до дальнего ИК излучений, называются световыми детекторами. С точки зрения разработчика датчиков поглощение фотонов чувствительным материалом приводит либо к повышению его температуры, либо к появлению новых квантовых частиц. Поэтому все детекторы световых излучений можно разделить на две группы: квантовые и тепловые преобразователи. Квантовые детекторы работают в интервале от УФ до среднего ИК диапазонов, в то время как тепловые датчики чаще используются в диапазонах среднего и дальнего ИК излучений, где их эффективность намного превышает эффективность квантовых преобразователей.

В таблице 4 приведены основные достоинства и недостатки различных датчиков, преобразующих световое излучение в электрический сигнал [11–14].

Таблица 4 – Основные достоинства и недостатки различных датчиков, преобразующих световое излучение в электрический сигнал

Достоинства	Недостатки
1	2
<b>Фоторезисторы</b>	
1. Высокие значения статического коэффициента преобразования и чувствительности 2. Практически линейная зависимость сопротивления от освещенности	1. Нелинейность силы излучения 2. Недостаточное быстродействие 3. Нестабильность характеристик (старение) 4. Зависимость характеристик от температуры 5. Необходимость охлаждения для некоторых типов фоторезисторов 6. Низкая скорость реакции на свет
<b>Фотодиоды</b>	
<i>PN фотодиоды</i> 1. Обладают низким уровнем темнового тока. 2. Высокая чувствительность 3. Невысокая емкость перехода <i>PIN фотодиоды</i> 1. Низкий ток утечки 2. Имеют высокие фоточувствительность, быстродействие и эффективность при малых обратных напряжениях <i>Фотодиоды Шотки</i> 1. Высокая чувствительность к УФ излучению 2. Высокие быстродействие и эффективность <i>Лавинные фотодиоды</i> 1. Большое усиление сигнала 2. Высокое быстродействие 3. Малые шумы	1. Малая фотоЭДС 2. Невысокая воспроизводимость  1. Зависимость коэффициента умножения от интенсивности света и напряжения 2. Нарушение линейной зависимости



Продолжение таблицы 4

1	2
<b>Фототранзисторы</b>	
1. Наличие механизма внутреннего усиления 2. Высокая фоточувствительность 3. Схемотехническая гибкость	1. Ограниченное быстродействие 2. Температурная зависимость параметров
<b>Охлаждаемые детекторы</b>	
1. Узкая зона запрещенных энергий 2. Определяют излучение больших длин волн и работают при низких температурах 3. Высокая чувствительность детектора 4. Определение оптической мощности в широком спектральном диапазоне 5. Определение температуры тепловых процессов и получение тепловых образов	1. Затрата энергии на охлаждение 2. Высокая стоимость 3. Невысокое быстродействие
<b>Детекторы ИК-излучений</b>	
<i>А) Ячейки Голея</i> 1. Возможность измерять терагерцовое и ближнее ИК-излучение 2. Обладают очень высокой чувствительностью 3. Отклик линеен во всей рабочей области 4. Имеет малое время задержки ответа (около 10 мс) <i>Б) Детекторы излучений на основе термоэлементов</i> 1. Возможность теплового детектирования излучений среднего и дальнего ИК диапазонов спектра 2. Обладают довольно низким уровнем шума 3. Невысокая стоимость <i>В) Пирозлектрические датчики ИК-излучений</i> 1. Хорошее экранирование и защита от окружающей среды <i>Г) Болометры</i> 1. Возможность измерять в широком спектральном диапазоне от среднего ИК до микроволн 2. Определение ИК температуры, построение тепловых образов, измерение локальных полей при высокой мощности излучений, чувствительность к СВЧ излучению 3. Миниатюрные размеры <i>Д) Активный датчик излучения дальнего ИК диапазона</i> 1. Являются прямыми преобразователями мощности излучений в электрическое напряжение 2. Высокая чувствительность 3. Высокая эффективность	1. Обладает довольно хрупкой конструкцией 2. Высокая стоимость 3. Громоздкость установки  1. Очень чувствительны к механическим нагрузкам и вибрациям 2. Характерен, так называемый микрофонный шум 3. Необходимость применения фокусирующих линз и волноводов  1. Невысокая чувствительность 2. Высокая стоимость

*Детекторы радиоактивного излучения.*

Ядерное излучение, испускаемое ядрами атомов некоторых материалов бывает двух типов: в виде заряженных частиц ( $\alpha$ ,  $\beta$  и протонов) и в виде частиц, не имеющих заряда, называемых нейтронами. Часть этих частиц являются сложными, например,  $\alpha$ -частицы, представляющие собой ядра атомов гелия, состоящих из двух нейтронов и двух протонов, другие частицы, такие как  $\beta$ -частицы, устроены гораздо проще ( $\beta$ -частица – это либо электрон, либо позитрон). Рентгеновское и  $\gamma$ -излучения относятся к электромагнитным излучениям ядерного типа. В свою очередь, рентгеновское излучение в зависимости от длины волны делится на жесткое, мягкое и ультрамягкое. Ядерное излучение часто называется ионизационным. При прохождении элементарных час-



тиц через различные среды, поглощающие их энергию, возникают новые ионы, фотоны или свободные радикалы.

Принцип работы датчиков радиоактивных излучений определяется способом взаимодействия исследуемых частиц с материалом самого детектора. Существуют три основных типа детекторов радиоактивных излучений: сцинтилляционные счетчики, газовые (ионизационные камеры, пропорциональные камеры, счетчики Гейгера-Мюллера) и полупроводниковые детекторы.

Также в соответствии с принципом действия все детекторы можно разделить на две группы: детекторы столкновений и дозиметры. Первые определяют наличие радиоактивных частиц, в то время как вторые измеряют мощность излучений. Поэтому существует еще одна классификация детекторов радиоактивных излучений: качественные и количественные.

В таблице 5 приведены основные достоинства и недостатки различных датчиков, преобразующих радиоактивное излучение в электрический сигнал [15–19].

Таблица 5 – Основные достоинства и недостатки различных датчиков, преобразующих радиоактивное излучение в электрический сигнал

Достоинства	Недостатки
<b>Сцинтилляционные детекторы</b>	
1. Высокая доля регистрируемых частиц 2. Высокая чувствительность ко всем видам ядерного излучения 3. Большая разрешающая способность 4. Способность различать частицы по энергиям и измерять её	1. Низкое разрешение по энергии излучения 2. Невысокая эффективность преобразователей
<b>Ионизационные детекторы</b>	
1) Ионизационные камеры 1. Просты в эксплуатации 2. Имеют высокую эффективность регистрации 3. Регистрируемым сигналом являются $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ - и рентгеновское излучения 2) Пропорциональные камеры 1. Возможно использовать для детектирования мягкого рентгеновского излучения, а также для обнаружения нейтронов 2. Можно детектировать $\alpha$ -частицы в присутствии $\beta$ - и $\gamma$ -излучений 3. Не только регистрируют частицу, но и определяют её энергию 3) Счетчики Гейгера-Мюллера 1. Высокая чувствительность 2. Возможность регистрировать разного рода излучения 3. Низкая стоимость и простота эксплуатации 4. Возможность автоматического подсчета числа частиц 5. Эффективность счета достигает 100% при энергиях фотонов ниже 10 кэВ	1. Очень низкая чувствительность 2. Низкие токи 3. Для регистрации нейтронов необходимо модифицировать камеру  1. Низкий коэффициент газового усиления  1. Отсутствует возможность идентифицировать частицы и определять их энергию
<b>Полупроводниковые детекторы радиоактивности</b>	
1. Высокая разрешающая способность 2. Малые размеры 3. Прочность 4. Линейность характеристик 5. Высокое быстродействие (до $10^{-9}$ с) 6. Возможность регистрировать сильно проникающее жесткое излучение, детектировать частицы и гамма-лучи с большой эффективностью 7. Возможность различать частицы по энергиям	1. Накопление пространственного заряда, создаваемого захваченными в ловушки электронами и дырками, что приводит с течением времени к уменьшению высоты импульса и скорости счета





*Датчики температуры.*

Измерение температуры всегда заключается в передаче небольшой порции тепловой энергии от объекта к датчику, который должен преобразовать эту энергию в электрический сигнал. Любой датчик, независимо от его размеров, вносит возмущение в зону измерения, что приводит к возникновению ошибок при определении температуры. Это касается любых способов детектирования: и радиационных, и конвективных, и теплопроводных. Таким образом, разработчик должен всегда стремиться минимизировать погрешность измерений, применяя соответствующие конструкции датчиков и методы компенсации погрешностей.

Существует два основных метода измерения температуры: *равновесный* и *прогнозируемый*. В равновесном методе измерение температуры проводится, когда между измеряемой поверхностью и чувствительным элементом, находящимся в зонде, наступает тепловое равновесие, т. е. между датчиком и объектом измерения нет существенной разности температур. В методе прогнозирования в процессе проведения измерений тепловое равновесие не наступает, а значение текущей температуры определяется по скорости изменения температуры датчика.

Бесконтактный датчик температуры представляет собой оптический детектор теплового излучения. В бесконтактных датчиках тепло передается через излучение или оптическим методом.

В таблице 6 приведены основные достоинства и недостатки различных типов датчиков, преобразующих температуру в электрический сигнал [20–25].

Таблица 6 – Основные достоинства и недостатки различных типов датчиков, преобразующих температуру в электрический сигнал

Достоинства	Недостатки
1	2
<b>Терморезистивные датчики</b>	
<p><i>А) Резистивные детекторы температуры</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Измерение температур выше 600 °С</li> <li>Воспроизводимость характеристик</li> <li>Долговременная стабильность</li> <li>Обладают очень высокой стабильностью его теплоизоляции</li> </ol> <p><i>Б) Кремниевые резистивные датчики</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Обладают хорошей линейностью сигнала</li> <li>Обладают высокой долговременной стабильностью</li> </ol> <p><i>В) Термисторы:</i> <i>Терморезисторы</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Имеют высокие значения сопротивления (до 1 МОм)</li> <li>Точность измерений</li> <li>Полупроводниковые датчики температуры обладают высокой стабильностью характеристик во времени и применяются для измерения температур в диапазоне от –100 до 200 °С</li> <li>Платиновые терморезисторы предназначены для измерения температур в пределах от –260 до 1100 °С</li> <li>Никелевые термометры имеют низкую стоимость</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Узкий температурный диапазон</li> <li>Большие размеры</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>Для достижения высокой точности измерений термисторы необходимо индивидуально калибровать в широком температурном диапазоне</li> <li>Небольшое удельное сопротивление медных терморезисторов и легкая окисляемость при высоких температурах</li> <li>Конечный предел применения медных термометров сопротивления ограничивается температурой 180 °С</li> <li>Никелевые термометры используются в диапазоне комнатных температур</li> </ol>



Продолжение таблицы 6

1	2
<b>Термоэлектрические преобразователи (термопары)</b>	
<p>1. Низкая стоимость</p> <p>2. Точные температурные вычисления с минимальной погрешностью</p> <p>3. Позволяют измерять температуру в диапазоне от – 200 до 2200 °С</p> <p>4. Надёжность в эксплуатации</p>	<p>1. Меньшая, чем у терморезисторов точность измерения</p> <p>2. Наличие значительной тепловой инерционности</p> <p>3. Необходимость введения поправки на температуру свободных концов и необходимость в применении специальных соединительных проводов</p>
<b>Оптические датчики температуры</b>	
<p>1. Возможность проводить измерения быстродействующих процессов</p> <p>2. Возможность использовать при работе в агрессивных средах, в условиях сильных электрических, магнитных и электромагнитных полей, а также при воздействии высокого напряжения</p> <p><i>Интерферометрические датчики</i></p> <p>1. Могут использоваться при температурах до 350 °С</p> <p>2. При использовании волноводов с золотым покрытием диапазон увеличивается до 650 °С</p>	<p>1. Дальность действия зависит от отражательных свойств объекта</p>
<b>Инфракрасные датчики (пирометры)</b>	
<p>1. Позволяют измерять температуру в труднодоступных местах и температуру движущихся объектов</p> <p>2. Малое время отклика</p> <p><i>Радиационные пирометры</i></p> <p>1. Используются для измерения температуры от 20 до 2500 °С</p> <p>2. Имеют простую конструкцию и компактность</p> <p>3. Низкая стоимость</p> <p>4. Высокая надёжность</p> <p>5. Хорошая разрешающая способность</p> <p><i>Яркостные (оптические) пирометры</i></p> <p>1. Используются для измерения температур от 500 до 4000 °С</p> <p>2. Точность измерения не зависит от расстояния до объекта и его излучательной способности</p> <p><i>Цветовые пирометры</i></p> <p>1. Используются для измерения температуры в диапазоне от 800 °С</p> <p>2. Точность измерения не зависит от расстояния до объекта и его излучательной способности</p>	<p>1. Результаты зависят от излучательной способности объекта и точность зависит от расстояния до объекта измерения</p> <p>1. Высокая стоимость</p> <p>2. Громоздкая конструкция</p>
<b>Акустические датчики температуры</b>	
<p>1. Возможность использовать при высоких уровнях радиации</p> <p>2. Миниатюрные размеры</p> <p>3. Чувствительность лежит в пределах нескольких кГц на градус</p> <p>4. Являются прямыми преобразователями температуры в частоту</p> <p>5. Линейность сигнала</p> <p>6. Измеряют температуру как в среднем, так и в высоком диапазоне температур</p>	<p>1. Чувствительны к нагрузке массы от собственного веса</p>



**Выводы.** При выборе преобразователя необходимо определить наиболее выгодный вариант – соотношение цены и возможностей прибора. В большинстве случаев требуется учитывать несколько параметров преобразователей: точность, стабильность выходных характеристик, надежность, долговечность, низкая цена.

На основании сравнительного анализа можно сделать вывод о том, что для определения мощности и типа источника опасности наиболее подходящими являются оптические датчики – миниатюрные спектральные системы, построенные на основе спектрометров УФ, видимого и ближнего ИК диапазонов или более дешевые системы из набора светодиодов разного спектрального состава; мобильные системы регистрации изображения на основе камер, работающих в диапазоне от 200 до 2500 нм; тепловизионные камеры, работающие в диапазоне от 8 до 14 мкм. Вибрационные и акустические датчики, а также датчики давления позволят определить местонахождение источника опасности и уточнить его характеристики.

Указанные датчики должны работать в комплексе, открывающем возможность пеленгации источника опасности. Поскольку эти датчики имеют малый вес и габариты, указанный комплекс может применяться не только в наземном варианте, но и в воздушном, например, с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Таким образом, в конструкцию усовершенствованного многофункционального модуля регистрации физических параметров окружающей среды должен входить дополнительный комплекс из четырех вышеуказанных типов датчиков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оружие на новых физических принципах [Электронный ресурс] / Сайт МЧС России. URL: <http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/86508> (дата обращения: 06.07.2016).
2. Конвенция о запрещении военного или любого иного враждебного использования средств воздействия на природную среду [Электронный ресурс] / Сайт ООН: Конвенции и соглашения. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/hostenv.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/hostenv.shtml) (дата обращения: 06.07.2016).
3. White R.W. A sensor classification scheme. *Microsensors* // New York. IEEE Press. 1991. P. 3–5.
4. Островский Л.А. Основы общей теории электроизмерительных устройств. Л.: Энергия, 1971. 544 с.
5. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. М.: Техносфера, 2006. 632 с.
6. Янчич В.В. Пьезоэлектрические датчики вибрационного и ударного ускорения: учеб. пособие. Ростов-на-Дону: Машиностроение, 2008. 77 с.
7. Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П. Датчики. Перспективные направления развития : Учеб. пособие / Под ред. М.П. Цапенко. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. 176 с.
8. Анисимкин И.В., Анисимкин В.И. Многомодовые акустические датчики и системы // Конференции и симпозиумы. 2005. Т. 175. № 8. С. 900–904.
9. Аш Ж. Датчики измерительных систем / Пер. с франц.; под ред. А.С. Обухова. М.: Мир, 1992. Кн. 1. 480 с.
10. Аш Ж. Датчики измерительных систем / Пер. с франц.; под ред. А.С. Обухова. М.: Мир, 1992. Кн. 2. 460 с.
11. Ефремов С.В. Опасные технологии и производства: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2007. 236 с.



12. ГОСТ Р 22.0.06–95. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. Введ. 1996–07–01. М.: ИПК Издательство стандартов, 1995.
13. Ишанин Г.Г., Панков Э.Д., Челибанов В.П. Приемники. СПб.: Папирус, 2003. 527 с.
14. Седалищев В.Н. Методы и средства измерений неэлектрических величин: учеб. пособие. Барнаул: АлтГТУ, 2008. 392 с.
15. Цирлин Ю.А., Глобус М.Е., Сысоева Е.П. Оптимизация детектирования гамма-излучения сцинтилляционными детекторами. М.: Энергоатомиздат, 1991. 152 с.
16. Бараночников М.Л. Приемники и детекторы излучений: справочник. М.: ДМК Пресс, 2012. 640 с.
17. Воробьев Е.А. Датчики-преобразователи информации: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2001. 43 с.
18. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений : Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 448 с.
19. Ляпидевский В.К. Полупроводниковые детекторы в дозиметрии ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1973. 179 с.
20. ГОСТ 6616–94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия. Введ. 1999–01–01. М.: ИПК Издательство стандартов, 1998.
21. Белозеров А.Ф., Омелаев А.И., Филиппов В.Л. Современные направления применения ИК радиометров и тепловизоров в научных исследованиях и технике // Оптический журнал. 1998. № 6. С. 16.
22. Букатый В.И., Перфильев В.О. Автоматизированный цветовой пирометр для измерения высоких температур при лазерном нагреве // Приборы и техника эксперимента. 2001. № 1. С. 160.
23. Гордов А.Н. Основы пирометрии. М.: Metallurgy, 1971. 472 с.
24. Бриант Д., Кестлер У., Янг У. Датчики температуры // Схемотехника. 2000. № 1. С. 14-17.
25. Выглеб Г. Датчики: устройство и применение. М.: Мир, 1989. 196 с.

#### BIBLIOGRAPHY

1. Weapons on new physical principles [Electronic resource] / Website of MES Russia. URL: <http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/86508/> (accessed 06.07.2016).
2. Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques [Electronic resource] / Website of the UNO: Conventions and agreements. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/hostenv.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/hostenv.shtml) (accessed 06.07.2016)
3. White, R.W. A sensor classification scheme. Microsensors // New York. IEEE Press. 1991. P. 3–5.
4. Ostrovskiy L.A. The general theory of electrical devices. L.: Energiya, 1971. 544 с.
5. Sharapov V.M., Musienko M.P., Sharapova E.V. Piezoelectric sensors / Under the editorship of V.M. Sharapov. M.: Tehnosfera, 2006. 632 p.
6. Yanich V.V. Piezoelectric sensors vibration and percussion acceleration: textbook. Rostov-on-Don: Mashinostroenie, 2008. 77 p.
7. Aleinikov A.F., Gridchin V.A., Tsapenko M.P. Sensors. Perspective directions of development : Textbook / Under the editorship of M.P. Tsapenko. Novosibirsk: NSTU, 2001. 176 p.
8. Anisimkin I.V., Anisimkin V.I. Multimode acoustic sensors and systems // Conferences and Seminars. 2005. Vol. 175. No. 8. P. 900–904.



9. Ash Zh. Sensors measuring systems / Transl. from Fr.; under the editorship of A.S. Obukhov. M.: Mir, 1992. Bk. 1. 480 p.
10. Ash Zh. Sensors measuring systems / Transl. From Fr.; under the editorship of A.S. Obukhov. M.: Mir, 1992. B. 2. 460 p.
11. Efremov S.V. Dangerous technology and production: textbook. SPb.: SPPTU, 2007. 236 p.
12. GOST R 22.0.06–95. The sources of natural emergencies. Damaging factors. Introd. 1996–07–01. M: IPK Publishing House of Standards, 1995.
13. Ishanin G.G., Pankov E.D., Chelibanov V.P. Radiations detectors. SPb.: Papirus, 2003. 527 p.
14. Sedalischев V.N. Metode and means for measuring of non-electrical values: textbook. Barnaul: AltSTU, 2008. 392 p.
15. Tsirlin Yu.A., Globus M.E., Sysoeva E.P. Optimizing the detection of gamma-radiation scintillation detector. M.: Energoatomizdat, 1991. 152 p.
16. Baranochnikov M.L. Detectors and radiation detectors: Directory. M.: DMK Press, 2012. 640 p.
17. Vorobiev E.A. Transmitters information: textbook. SPb.: SUAP, 2001. 43 p.
18. Kulikovskiy K.L., Kuper V.Ya. Metode and means for measuring : Textbook. M.: Energoatomizdat, 1986. 448 p.
19. Lyapidevskiy V.K. Semiconductor detectors in dosimetry of ionizing radiation. M.: Atomizdat, 1973. 179 p.
20. GOST R 6616–94. Thermoelectric converters. General specifications. Introd. 1999–01–01 M: IPK Publishing House of Standards, 1998.
21. Belozarov A.F., Omelaev A.I., Filippov V.L. Modern trends in the use IR-radiometers and thermal imagers in scientific research and technology // Journal of optical. 1998. No. 6. P. 16.
22. Bukatyy V.I., Perfiliev V.O. Automated color pyrometer for high temperatures measuring by laser heating // Instruments and experimental techniques. 2001. No 1. P. 160.
23. Gordov A.N. Basics pyrometry. M.: Metallurgiya, 1971. 472 p.
24. Briant D., Kestler U., Yang U. Sensors of temperature // Skhemotekhnika. 2000. No 1. P. 14–17.
25. Vygleb G. Sensors: the construction and use. M.: Mir, 1989. 196 p.

© Майгурова Н.И., Назаренко И.Н., Федий Г.Л., 2017

Майгурова Нина Ивановна, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела научно-исследовательского управления научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Назаренко Игорь Николаевич, кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела научно-исследовательского управления научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Федий Галина Леонидовна, младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела научно-исследовательского управления научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru