

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

# **МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2023

УДК 681.586 33(075.8)

ББК 32.96-04я73

М902

*Печатается по решению заседания Ученого совета Института радиотехнических систем управления Южного федерального университета (протокол № 3 от 13 апреля 2023 г.)*

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химия»  
Донского государственного технического университета *В. Э. Бурлакова*  
доктор физико-математических наук, профессор кафедры химии Ростовского  
государственного университета путей сообщения *Ю. Ф. Мигаль*

**Милешко, Л. П.**

М902      Мультисенсорные системы : учебное пособие / Л. П. Милешко, О. Б. Спиридонов, И. И. Черепяхин, И. П. Щербинин, Е. А. Шестова, С. С. Алхасов, А. С. Камышева ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. — 273 с. — 3-е изд., перераб. и доп.

ISBN 978-5-9275-4484-4

Междисциплинарное учебное пособие, предназначенное для факультативного изучения студентами и магистрантами, обучающимися по направлениям подготовки «Техносферная безопасность» и «Электрооборудование автомобилей и тракторов».

Охарактеризованы многофункциональные датчики, аналитические микро- и нанолaborатории: газовый и жидкостный хроматографы, нейроподобная система «электронный нос» и мультисенсорные системы – «электронный язык».

Приведены основные результаты исследования направлений создания системы непрерывного мониторинга технического состояния образцов транспортной техники, полученные в НИИ МВС ЮФУ.

Материалы пособия могут быть полезны также для специалистов, работающих в области датчикоостроения.

УДК 681.586 33(075.8)

ББК 32.96-04я73

ISBN 978-5-9275-4484-4

© Южный федеральный университет, 2023

© Милешко Л. П., Спиридонов О. Б., 2023

© Черепяхин И. И., Щербинин И. П., 2023

© Шестова Е. А., Алхасов С. С., Камышева А. С., 2023

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ...	11
1.1. Двухфункциональные датчики .....	12
1.1.1. Датчик усилия и температуры .....	12
1.1.2. Датчик температуры и пульса .....	12
1.1.3. Датчик температуры и влажности .....	12
1.1.4. Датчик для измерения температуры и напряженности магнитного поля .....	13
1.1.5. Датчик для измерения температуры и относительной влажности воздуха .....	14
1.1.6. Датчик для измерения линейных вибраций и углового ускорения .....	14
1.1.7. Перестраиваемый датчик контроля температуры и ос- вещенности .....	14
1.1.8. Датчики фирмы «Хьюмикерам» .....	15
1.1.9. Датчики давления и температуры .....	16
1.2. Трехфункциональные датчики .....	20
1.3. Перспективы применения многофункциональных датчиков ..	28
1.4. Коррекция погрешностей измерительных сигналов мно- гофункциональных датчиков .....	29
1.5. Повышение точности датчиков .....	33
Контрольные вопросы .....	36
2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МИКРО- И НАНОЛАБОРАТОРИИ .....	39
2.1. Лаборатории на кристалле .....	39
2.1.1. Газовый хроматограф .....	40
2.1.2. Жидкостный хроматограф .....	43
2.2. Детектирующие устройства микролабораторий .....	46
2.3. Наносенсорная нейроподобная система «электронный нос» ..	48
2.4. Мультисенсорные системы типа «электронный язык» .....	53
2.4.1. Массив сенсоров .....	54
2.4.1.1. Потенциометрические электроды .....	55

2.4.1.2. Химически чувствительные полевые транзисторы ....	61
2.4.1.3. Вольтамперометрические сенсоры .....	68
2.4.1.4. Импедансные сенсоры .....	70
2.4.2. Блок сбора данных .....	71
2.4.2.1. Архитектура измерительной системы .....	71
2.4.2.2. Платы сбора информации для ЭВМ .....	75
2.4.3. Блок обработки данных .....	76
2.4.3.1. Статистические методы .....	77
2.4.3.2. Нестатистические методы .....	80
2.4.4. МСС в информационной системе импактного мониторинга	84
2.4.4.1. Общие представления о региональных эколого-информационных системах .....	84
2.4.4.2. Состав и структура гидроэкологической базы данных	87
2.4.4.3. Оперативная аналитическая обработка данных .....	88
Контрольные вопросы .....	94
<b>3. АНАЛИЗ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ</b>	
<b>ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ</b>	
<b>ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ .....</b>	<b>96</b>
3.1. Тахографы .....	102
3.1.1. Автомобильные ЕС-тахографы .....	107
3.1.2. Цифровые тахографы .....	117
3.1.2.1. Цифровой тахограф DTCO 1381 .....	117
3.1.2.2. Цифровой тахограф ВАКИ TAXO 2000 .....	117
3.2. «Черные ящики» .....	119
3.2.1. Аппаратура регистрации параметров «черный ящик» АРП-10 .....	119
3.2.2. Прибор защиты крана ПЗК-10 .....	120
3.3. GPS-системы сбора и обработки информации .....	121
3.3.1. Автомобильный навигационный регистратор «Гранит Р-БД-АЦ.02» .....	122
3.3.2. Система записи параметров движения и состояния ТС со считыванием по каналам сети GSM .....	127
3.3.3. Система записи параметров движения и состояния ТС со считыванием по каналам сети GlobalStar .....	129

3.3.4. Система записи параметров движения и состояния ТС с использованием электронного считывателя .....	132
3.3.5. Система мониторинга и управления ТС с использованием УКВ-связи .....	133
3.3.6. Системы ЗАО «АСКО-информационные технологии» .....	137
3.4. Состав и технические параметры блоков непрерывной регистрации данных .....	138
3.5. Описание ЭО СНМ, разработанной в НИИ МВС ЮФУ .....	141
3.5.1. Назначение ЭО СНМ .....	142
3.5.2. Использование разработанной в НИИ МВС ЮФУ ЭО СНМ на объектах АТ .....	143
3.5.3. Параметры, контролируемые ЭО СНМ на объектах АТ со штатным комплектом датчиков и сигнализаторов .....	143
3.5.4. Диагностические параметры, оцениваемые ЭО СНМ .....	143
3.5.5. Диагностические параметры, оцениваемые ЭО СНМ при установке дополнительных датчиков .....	144
3.5.6. Состав ЭО СНМ .....	144
3.5.7. Назначение БНРД .....	146
3.5.8. Назначение ПО МРМ .....	146
3.5.9. Конструктивное исполнение БНРД .....	147
3.5.10. Системные требования программного обеспечения СНМ .....	147
3.5.11. Основные технические характеристики ЭО СНМ .....	150
Контрольные вопросы .....	152
<b>4. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ .....</b>	<b>153</b>
4.1. Штатные датчики отечественной автомобильной техники ....	153
4.2. Дополнительная датчиковая аппаратура повышенной точности .....	157
Контрольные вопросы .....	168
<b>5. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВЫХ УСТРОЙСТВ ПОВЫШЕННОГО КЛАССА ТОЧНОСТИ ДЛЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ, РАЗРАБОТАННЫХ И ИЗГОТОВЛЕННЫХ в НИИ МВС ЮФУ .....</b>	<b>169</b>

5.1. Семейство дополнительной диагностической датчиковой аппаратуры с унифицированным токовым выходным сигналом .....	171
5.1.1. Датчики температуры с токовым выходным сигналом ...	172
5.1.2. Датчики давления (разрежения) с токовым выходным сигналом .....	175
5.2. Диагностическая датчиковая аппаратура с унифицированным частотным выходным сигналом .....	180
5.3. Диагностическая датчиковая аппаратура с унифицированным цифровым выходным сигналом .....	183
5.3.1. Датчики температуры с цифровым выходным сигналом	184
5.3.2. Датчики давления (разрежения) с цифровым выходным сигналом .....	187
5.3.3. Датчик угла поворота с цифровым выходным сигналом ...	190
5.3.4. Датчики расхода дизельного топлива с цифровым выходным сигналом .....	195
Контрольные вопросы .....	208
6. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ С УСТРОЙСТВОМ РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ .....	209
6.1. Модель прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании бортовой системы контроля с устройством регистрации данных .....	209
6.2. Алгоритм методики прогнозирования значений диагностических параметров АТ .....	217
6.3. Модель оптимизации состава датчиков для бортовых систем контроля автомобильной техники .....	222
6.3.1. Модель функционирования датчиков бортовой системы контроля АТ .....	223
6.3.2. Постановка задачи оптимизации состава датчиков бортовой системы контроля АТ .....	229
6.3.3. Имитационная модель оптимизации состава датчиков бортовой системы контроля АТ .....	230
Контрольные вопросы .....	234

7. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ МОНИТОРИНГОВЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ, КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ, АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОНОМНЫХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, ЦИФРОВЫХ И БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	235
7.1. Описание предметной области исследования .....	237
7.2. Современное состояние проблемы .....	241
7.3. Выбор и обоснование приоритетных направлений исследования	243
Контрольные вопросы .....	250
8. НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В СФЕРЕ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ .....	251
8.1. Мультисенсорные системы типа «электронный нос» .....	251
8.2. Мультисенсорные системы типа «электронный язык» .....	253
Контрольные вопросы .....	256
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	257
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	259

*Памяти  
Королева Алексея Николаевича и  
Котова Валерия Николаевича  
посвящается.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Разработка систем экологического мониторинга глобального, национального, регионального и местного уровней представляется одной из важных задач в современной науке и технике [1].

В сенсорике рассматривается техника конструирования, создания и употребления датчиков [2. С. 6].

Достижениями современной сенсорики открываются новые возможности реализации мониторинга локального, регионального и глобального масштабов.

В зарубежной литературе широко распространен термин «сенсор», являющейся там синонимом термина «датчик» [3. С. 6]. Его происхождение от английского *sense* – чувствовать, ощущать, что точнее, чем «датчик», но менее полно и содержательно, чем «первичный измерительный преобразователь». Эти терминологические разногласия легко устранить, если между тремя терминами поставить знак официального тождества [3. С. 6].

Действительно, в переводе с английского языка *sensor* – (первичный) измерительный преобразователь, датчик; чувствительный элемент; сенсор [4. С. 357].

Для эффективной работы системе часто требуется информация о более чем одном внешнем параметре, или недостаточна точность измерения внешнего параметра. Вследствие логичного следствия из этого обстоятельства стали широко распространены системы со многими датчиками (многосенсорные или мультисенсорные системы) в разных областях техники и промышленности. Преимущества многосенсорных систем являются очевидными: повышается точность, устойчивость к переменам окружающей среды, уменьшается зависимость от надежности отдельного датчика, большая гибкость, многомерные измерения. Однако для того, чтобы достигнуть этих достоинств, следует точно и с максимальной пользой объединять информацию с датчиков [5].



В связи с этим нейросетевые технологии – это перспективное направление создания мультисенсорных систем нового поколения [5–7].

В общем случае под **мультисенсорной системой** понимают систему со многими датчиками или сенсорными элементами, предназначенную для наблюдения за состоянием натуральных и антропогенных объектов окружающей среды.

При существующей тенденции совершенствования автомобильной техники (АТ) требуется высокая квалификация специалистов, которые заняты разработкой автомобильных систем мониторинга технического состояния АТ, а также по подготовке научного персонала в сфере исследований процессов взаимодействия различных агрегатов и механизмов АТ, способных корректно анализировать регистрируемые данные и оценивать состояние транспортных средств, а также формулировать предложения по оптимизации процессов регистрации данных.

С другой стороны, для организаций, изготавливающих и эксплуатирующих АТ, широкое внедрение электронных устройств позволяет поднимать параметры узлов, агрегатов и автомобиля в целом на качественно новый уровень.

Причем актуальность внедрения систем непрерывной регистрации характеристик вызвана следующим. Повышение сложности систем электрооборудования автомобилей обуславливает увеличение массы и стоимости соединительных проводов, снижение надежности электрооборудования из-за возрастания количества разъемных соединений. Например, введение в систему электрооборудования системы управления двигателем приводит к увеличению протяженности проводки на 120–150 м, количества разъемов – на 10–17 шт. Помимо этого, при добавлении новой системы управления происходит изменение существующей схемы электропроводки и частичной разунификации семейства транспортных средств.

В результате анализа эксплуатационных отказов АТ выявлено, что более 6 % всех неисправностей вызывается отказами в системе электрооборудования, около 70 % этих отказов приходится на нарушения электрических контактов в проводах, разъемах и коммутационной арматуре (переключателях, коммутаторах).

Одним из направлений разрешения сложившейся ситуации является переход на мультиплексные принципы организации обмена информацией,

а также разработка и внедрение системы непрерывного мониторинга технического состояния образцов АТ.

Система мониторинга должна производить углубленную диагностику оборудования образцов АТ с целью формирования рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонту образцов АТ по их техническому состоянию, кроме того, система мониторинга должна обеспечивать ведение «электронного паспорта» образцов АТ на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Подобная диагностика возможна только при наличии достаточно большого числа датчиковой аппаратуры высокой точности измерения (основная погрешность измерения не более  $\pm 1$  %), установленной в контролируемых агрегатах и механизмах АТ. Однако в настоящее время выбор отечественной датчиковой аппаратуры для автомобильных приложений ограничен, а применение импортной – требует адаптации присоединительных размеров к существующим установочным местам в отечественной АТ. Кроме того, стоимость импортных датчиков достаточно высока. Поэтому для контроля технического состояния транспортного средства возможно использование штатной датчиковой аппаратуры АТ, регулярно контролируемой и перекалибруемой с помощью стендового оборудования, в состав которого входят эталонные датчики повышенной точности.

Таким образом, система непрерывного мониторинга должна включать блоки непрерывной регистрации данных (БНРД), мобильное рабочее место оператора (МРМ), средств связи БНРД и МРМ, стендовое оборудование для тарировки датчиковой аппаратуры и дополнительного комплекта эталонной датчиковой аппаратуры.

Предварительные оценки внедрения системы непрерывного мониторинга технического состояния образцов АТ обеспечат сокращение расходов на техническое обслуживание образцов АТ на 20–35 % и повысят надежность работы образцов АТ – на 40–60 %.

Авторы выражают благодарность Матыченко Н. А. за помощь в подготовке учебного пособия к изданию.

# 1. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Многофункциональными называются датчики, воспринимающие и преобразующие несколько входных величин.

Для создания многофункциональных датчиков перспективны полупроводниковые материалы и пьезоматериалы.

Кроме полупроводниковых, пьезоэлектрических и керамических материалов для создания многофункциональных датчиков можно рекомендовать волоконно-оптические преобразователи [8]. Кратко охарактеризуем основные методы разделения входных величин [8–10].

**Метод «воздействия».** Этот метод свойствен изменениям дополнительной энергии влияния при активном восприятии пассивных величин. Примером является изменение частотного спектра при перемене энергии воздействия.

**Метод «исключения».** Он свойствен выборочным временным «исключениям» влияния заданных величин или их коммутации. По этому методу входные величины во времени воспринимаются последовательно.

**Метод «приведения».** По этому методу организуются селективные каналы, по которым воспринимаются величины и предусматривается объединение нескольких селективных чувствительных элементов в одном сенсоре (датчике), и происходит параллельное восприятие входных величин.

**Метод перестройки параметров и режимов работы датчика.** В процессе восприятия каждой измеряемой величины у датчика (сенсора) искусственно изменяется режим работы.

Широко распространены многофункциональные селективные датчики. Указанные методы «исключения», «воздействия» и «перестройки» образуют основу перестраиваемых многофункциональных датчиков.

Следовательно, различают перестраиваемые и селективные многофункциональные датчики [8,11,12].

Далее более подробно будут рассмотрены многофункциональные (многомерные) датчики, с использованием кратко охарактеризованных методов разделения входных величин [8].

## **1.1. Двухфункциональные датчики**

### ***1.1.1. Датчик усилия и температуры***

Датчик усилия и температуры базируется на употреблении пассивных элементов и способа приведения [13]. Селективный датчик для контроля одновременно усилия и температуры создается из нитевидных кристаллов кремния диаметром 30...70 мкм, ориентацией оси роста  $\langle 111 \rangle$  [13]. В центре датчик имеет электронную проводимость, а во внешнем слое – дырочную проводимость. К термоэлементу (кристаллу п-типа) привариваются контакты из легированной сурьмой платиновой микропроволоки. К слою р-типа (тензоэлементу) привариваются контакты из чистой платины. При температуре  $T = 20 \pm 5$  °С термоэлемент имеет начальное сопротивление 10...1 000 Ом. У датчика имеется малый показатель тепловой инерции (50...80 мс) и большой коэффициент тензочувствительности (порядка 65). Из-за низких габаритов ( $1 \dots 4 \times 0,05 \times 0,05$  мм<sup>3</sup>) возможно измерение деформации и температуры объектов с малыми поверхностями.

### ***1.1.2. Датчик температуры и пульса***

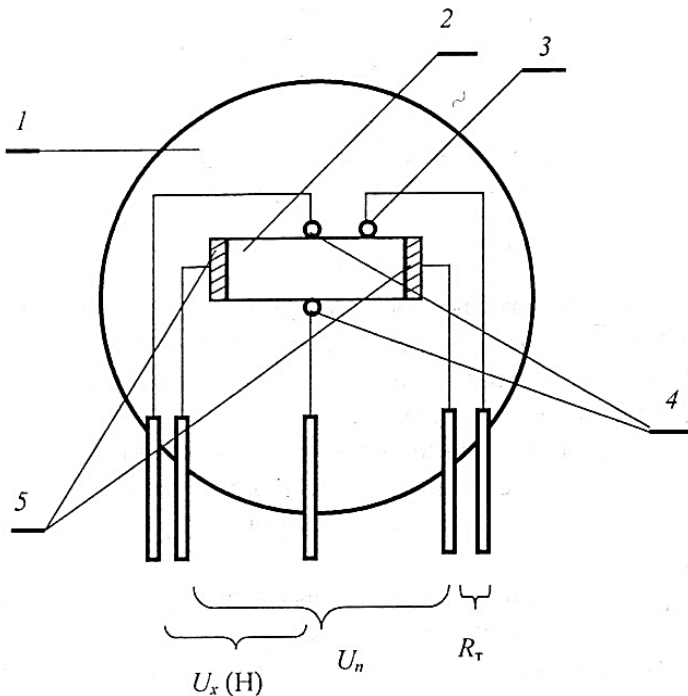
Датчик температуры и пульса также базируется на способе приведения, а его электрод (с термодатчиком) измеряет температуру тела и электрическую активность сердца [14].

### ***1.1.3. Датчик температуры и влажности***

В [11] охарактеризован датчик фирмы Numisag (Япония), базирующийся на способе приведения, и он предназначен для измерения температуры от  $-4$  °С до  $80$  °С и относительной влажности от 0 до 100 %. Этот датчик исполнен как пленочный конденсатор. Установление влажности среды происходит за счет сорбции влаги полимерной пленкой, что изменяет диэлектрическую проницаемость пленки. Чувствительным элементом температуры является полупроводниковый миниатюрный терморезистор.

### 1.1.4. Датчик для измерения температуры и напряженности магнитного поля

Конструкцию датчика иллюстрирует рис. 1.1 [8,15]. Здесь также употреблен способ приведения. На подложку наносят элемент Холла, созданный из монокристалла нитевидного антимонида индия, в котором содержатся токовые и «холловские» электроды. Для установления температуры употребляется сопротивление контакта структуры InSb-Au, создаваемого пятым электродом. Габариты чувствительного элемента –  $0,5 \times 0,0005 \times 0,02$  мм<sup>3</sup>. Датчик испытывали в интервале температур 77...350 К и диапазоне магнитной индукции 0...3 Тл.



**Рис. 1.1.** Конструкция датчика для измерения температуры (Т) и магнитного поля (Н) [8]:

- 1 – пластина; 2 – нитевидной формы монокристалл;
- 3 – электрод из золота; 4 – электроды токовые;
- 5 – электроды «холловские»

### 1.1.5. Датчик для измерения температуры и относительной влажности воздуха

Данный датчик основан на способе «воздействия», состоящий из пористой керамической пластины с электродами (чувствительными элементами влажности) [8,16]. На одной из поверхностей наносится термочувствительный элемент (рис. 1.2). Измерение температуры осуществляется на постоянном токе, а на переменном – влажности.

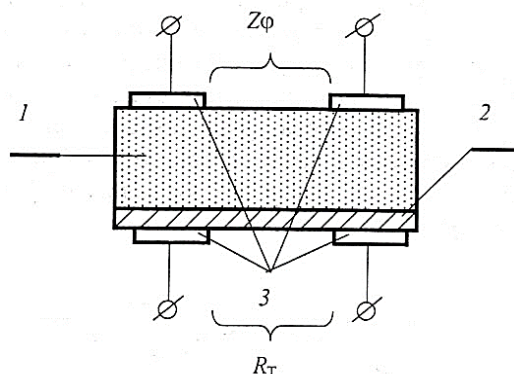


Рис. 1.2. Конструкция датчика для измерения температуры (Т) и относительной влажности(φ) воздуха [8]:

1 – пластина; 2 – термочувствительный элемент; 3 – контактные площадки

### 1.1.6. Датчик для измерения линейных вибраций и углового ускорения

Селективный датчик изготовлен как молекулярно-электронный преобразователь и имеет корпус с выполненными симметрично камерами, которые закрыты двумя мембранами [12]. В камерах находятся сообщающиеся каналы с закрепленными в них двумя электродами. Информацию об угловом ускорении (способ «приведения»), а сумма – о линейном, несет разность электрических сигналов с электродов.

### 1.1.7. Перестраиваемый датчик контроля температуры и освещенности

Роль чувствительного элемента выполняет фототранзистор [17] с коллекторным током  $I_k$ , который равен

$$I_k = f(T, E, U_n),$$

где  $T$  – температура;  $E$  – освещенность;  $U_n$  – напряжение питания фототранзистора.

Изменяя  $U_n$  посредством соответствующего переключения, выбирают входную величину (способ «перестройки»). Фототранзистор при контроле температуры заперт (функционирует) в пассивном режиме, а при контроле влажности – открыт в активном режиме.

### 1.1.8. Датчики фирмы «Хьюмикерам»

Перестраиваемый (способ «воздействия») сенсор японской фирмы Numisegam изготовлен из пористого дырочного полупроводника [18].

Датчик (рис. 1.3) создан на базе керамики  $BaTiO_3-SrTiO_3$  с оксидно-рутениевыми электродами. К ним привариваются выводы нагревателя и пластины. Здесь употреблено явление адсорбции на поверхности керамики влаги, вызывающее идущее вместе изменение ее активного сопротивления. При контроле температуры употребляется изменение емкостной составляющей.

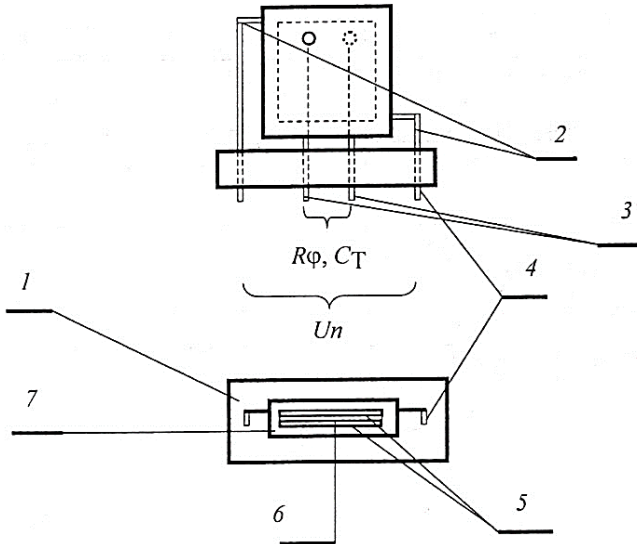


Рис. 1.3. Конструкция датчика фирмы «Хьюмикерам» [8]:

- 1 – пластина; 2 – выводы нагревателя; 3 – выводы керамики; 4 – клеммы;  
5 – оксидно-рутениевые электроды; 6 – керамика; 7 – нагреватель

Другой (также перестраиваемый) датчик из керамики  $\text{MgCrO}_4\text{-TiO}_2$  может контролировать влажность и концентрацию кислорода. При этом в процессе контроля влажности также употребляется явление физической адсорбции. Воздействие окислительной и восстановительной среды при высоких температурах приводит к хемосорбции. Это вызывает изменение электропроводности керамики, дающее информацию о концентрации кислорода.

Параметры керамических датчиков фирмы Numiceram представлены в табл. 1.1 [8].

Таблица 1.1

**Основные технические параметры керамических датчиков фирмы Numiceram**

№ п/п	Параметры	Датчик температуры и влажности	Датчик влажности и кислорода
1	Габаритные размеры чувствительного элемента, мм	4×4×0,25	4×4×0,25
2	Материал керамики	$\text{BaTiO}_3\text{-SrTiO}_3$	$\text{MgCrO}_4\text{-TiO}_2$
3	Диапазон измерения: влажности, % температуры, °С	1...100 -4...+150	1...100 -

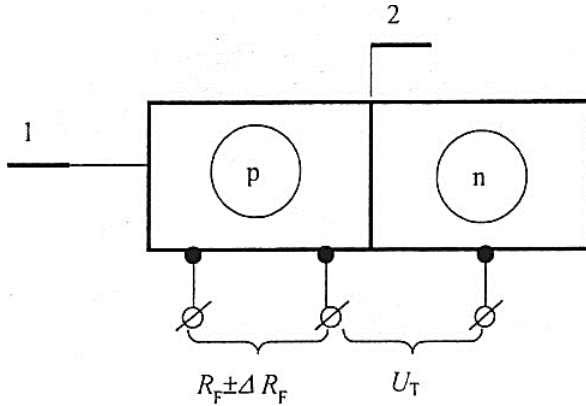
**1.1.9. Датчики давления и температуры**

В [19] представлен параметрический датчик (способ «воздействия») в исполнении на базе пьезокерамики, который позволяет определять давление и температуру в диапазонах соответственно 0...2,42 МПа и 40...150 °С. Процессы их контроля разделены во времени. Пьезокерамический элемент запитан от источника постоянного тока. Определение давления основано на пьезоэффекте, а перемена напряжения – несет информацию о температуре.

Конструкция датчика, который основан на способе «приведения» показана на рис. 1.4 [8, 20]. Нитевидный кристалл с ориентацией роста <III> с точечными омическими контактами служит чувствительным элементом в нем.

Участок с проводимостью р-типа является тензочувствительным элементом, а для контроля температуры употребляется участок с р–п-переходом.



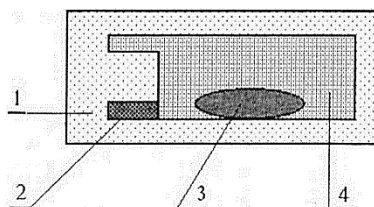


**Рис. 1.4.** Конструкция датчика, контролирующего механические усилия ( $F$ ) и температуру ( $T$ ) [8]: 1 – кремниевые монокристаллы; 2 – p–n-переход

Внимание заслуживает перестраиваемый датчик из материала, имеющего доменную структуру [8]. У него выходной сигнал связан функционально с деформацией и температурой. Использование в качестве чувствительного элемента поляризованного сегнетоэлектрического материала – пьезокерамики – позволяет датчику функционировать одновременно как в генераторном (на основе пьезоэффекта), так и в параметрическом режиме. При этом является возможным управление в определенных пределах параметрами датчиков за счет внешнего поля изменением пьезочувствительности и ряда электрофизических параметров [21] (способ «перестройки»). Такого типа многофункциональные датчики изготавливаются из сегнетоэлектриков группы цирконата титаната свинца (ЦТС) и ниобата лития. Первые разрешают синтез различных видов пьезокерамики, в том числе и пленочных [12], а другие, с высокой точкой Кюри (до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), – создавать многофункциональные высокотемпературные датчики.

На основе пленок ЦТС получены датчики температур и деформаций поверхности объектов, со следующими характеристиками: начальной емкостью –  $C_0 \approx 500$  пФ; тангенсом угла потерь –  $\text{tg}\delta \leq 0,02$ ; пьезомодуль  $d_{33} i - 8,0 \dots 10^{-12}$  Кл/Н; чувствительностью –  $10^8$  В/м; рабочим диапазоном частот –  $10^{-1} \dots 10^8$  Гц; рабочим диапазоном температур –  $-50 \dots 250\text{ }^{\circ}\text{C}$  и деформаций –  $10^{-8} \dots 10^{-3}$  относительных единиц деформаций; площадью –  $s \approx 3$  мм<sup>2</sup>; толщиной –  $\approx 0,5$  мм [8].

Датчик для слежения за динамикой роста и температурой растений (рис. 1.5) произведен из полимерной пленки, на поверхность которой путем вакуумной сублимации последовательно нанесены слои первого электрода, органического пьезоэлектрического материала (на основе полициклических соединений), и второго электрода [8, 21, 22]. Такой датчик с помощью клеящей структуры основания обертывается вокруг стебля и закрепляется на нем. В результате прироста стебля по толщине происходит деформация пьезоэлемента и образуется электрический заряд на нем. При перемене температуры меняется электрическая проводимость (емкость) пьезоэлемента.



**Рис. 1.5.** Устройство датчика для установления динамики роста ( $\epsilon$ ) и температуры ( $C$ ) [8] показано наличием:

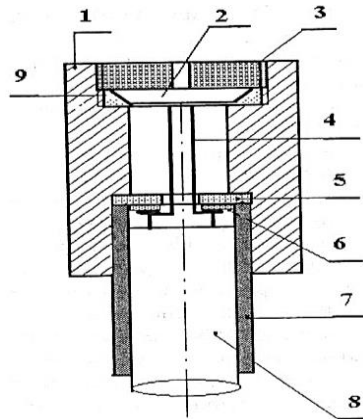
1 – полимерной пленки; 2, 4 – электродов; 3 – пьезоэлемента

На рис. 1.6 [8, 23] показан перестраиваемый датчик атмосферного давления и температуры воздуха с принципом действия основанном на эффекте поперечной пьезоЭДС.

Для анизотропной деформации в тензоре электропроводности германия для кремния образуются недиагональные компоненты, и при пропускании тока в направлении одного из ребер прямоугольного образца на противоположных перпендикулярных гранях появляется разность потенциалов, называемая поперечной пьезоЭДС –  $U$ . Эта пьезоЭДС, учитывая отношения сторон прямоугольного тензорезистивного слоя и ширины потенциальных контактов, получена в работе [24] по аналогии краевых задач теории холловских пластинок:

$$U = qk\pi I/h\sigma,$$

где  $q$  – интенсивность распределенного давления;  $h$  – толщина тензорезистивного слоя;  $k$  – коэффициент, зависящий от соотношения размеров тензопреобразователя и контактов;  $\pi$  – компонент тензора сопротивления;  $\sigma$  – электропроводность материала чувствительного элемента датчика;  $I$  – сила тока.



**Рис. 1.6.** Конструкция датчика атмосферного давления и температуры [8] показана наличием: 1 – цилиндрического корпуса; 2 – воздушного промежутка; 3 – прижимной резьбовой втулки; 4 – электрических выводов интегрального пьезопреобразователя; 5, 9 – токосъемника из фольгированного стеклотекстолита с контактными площадками; 6, 7 – ограничительной трубки; 8 – электрического выходного кабеля

Активное сопротивление у такой структуры обладает ярко выраженной зависимостью от температуры [23].

Датчик располагает следующими техническими параметрами:

- а) рабочим диапазоном измерения давления 39,2 ... 9,8 кПа;
- б) функцией преобразования давления в электрический сигнал – индивидуального вида

$$U(p) = \alpha + \beta p,$$

где  $U(p)$  – выходное напряжение;  $\alpha$  – начальная составляющая напряжения;  $\beta$  – постоянный коэффициент, характеризующий чувствительность преобразователя;  $p$  – измеряемое давление;

- в) основной погрешностью измерения давления в рабочем диапазоне  $\pm 5\%$ ;

г) рабочим диапазоном измерения температуры – 40...+ 40 °С;

- д) номинальной функцией преобразования температуры в электрический сигнал – индивидуального вида

$$R(T) = R_0 \exp[\gamma(T_0 - T)T_0 T],$$

где  $R(T)$  – текущее сопротивление преобразователя при температуре  $T$ ;  $R_0$  – начальное сопротивление при температуре  $T_0 = 0$  °С;  $\gamma$  – постоянная, определяемая свойствами материала чувствительного элемента датчика;

е) основной абсолютной погрешностью измерения температуры  $\pm 1,5$  °С;

ж) климатическим исполнением датчика УХЗЛ по ГОСТ 15150 – 73;

з) питанием датчика – источником постоянного тока  $5 \pm 0,25$  В;

и) габаритными размерами –  $M12 \times 45$  мм.

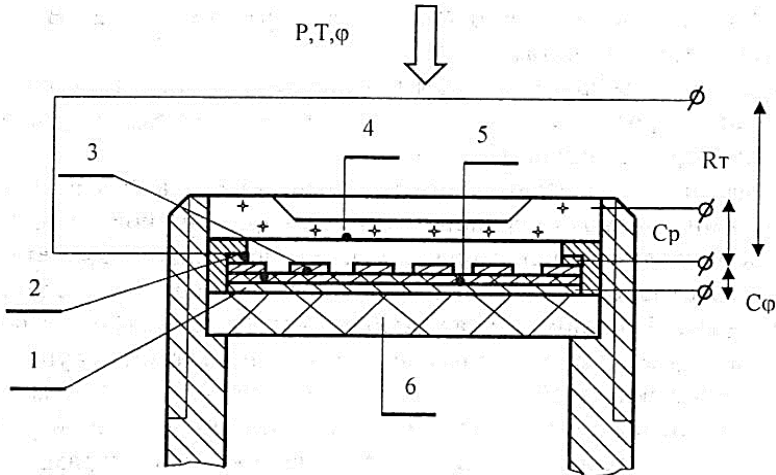
Датчик может использоваться для установления параметров воздуха при агромониторинге и в других системах дистанционного мониторинга воздушно-газовых сред [8].

Известен также перестраиваемый датчик на базе серийного бескорпусного кремниевого стабилитрона [25]. В данном случае употребляется подчиненность напряжения стабилизации механическим напряжениям и температуре. В случае прямого включения стабилитрона на нем падение напряжения подчинялось изменению температуры, т.е. стабилитрон в одном из режимов действовал как термодиод. Было употреблено временное разделение каналов контроля (последовательно переключали режимов работы – метод «пере-стройки»). Причем измерялись не только две величины, но и выполнялась температурная коррекция при установлении давления. Датчик обнаруживал давление в интервале  $0 \dots 4,8 \cdot 10^5$  Па с погрешностью 2 % и температуру от 20 до 80 °С (погрешность  $\pm 0,5$  °С). Габаритные размеры чувствительного элемента  $1 \times 1 \times 3$  мм<sup>3</sup> [1].

## **1.2. Трехфункциональные датчики**

В [8] охарактеризованы датчики, разработанные в результате проведенного поиска новых совокупностей физических явлений. В селективный датчик, показанный на рис. 1.7 [8], входит мембрана в виде пластины кремния, полученная анизотропным направленным травлением, ситалловая подложка, на которую способом вакуумного напыления нанесена слоистая структура, состоящая из металлического электрода, гигроскопического материала (оксида алюминия) и платинового пленочного термометра сопротивления с формой типа меандра [26].

Мембрана и слоистая структура ситалловым цементом закреплена в корпусе. Нижняя поверхность мембраны вместе с верхней поверхностью термометра создают емкостный преобразователь давления, а с нижней поверхностью термометра сопротивление, гигроскопическим материалом и электродом – емкостный преобразователь влажности воздуха.

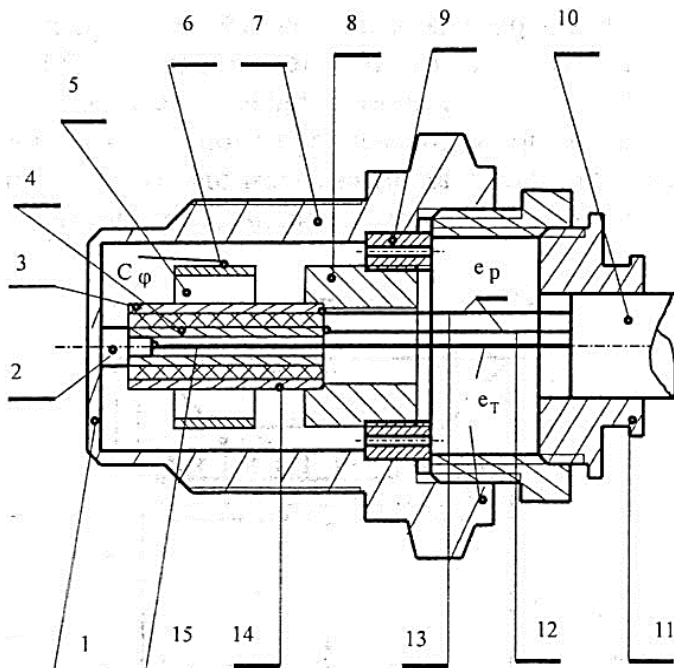


**Рис. 1.7.** Конструкция датчика для определения давления ( $P$ ), температуры ( $T$ ) и относительной влажности воздуха ( $\phi$ ) показана наличием: 1 – алюминиевого электрода; 2 – контактной площадки; 3 – пленочного терморезистора; 4 – кремниевой мембраны; 5 – оксида алюминия; 6 – ситалловой подложки

На рис. 1.8 [8, 27] отображена конструкция селективного датчика, содержащего пьезокерамический элемент в форме полого цилиндра. На его внутренней поверхности нанесен сплошной слой серебряного электрода способом вжигания, а на его внешнюю поверхность – два иных слоя, дающих дифференциальное подключение пьезоэлемента в усилительно-преобразующее устройство.

На пьезоэлемент нанесен слой гигроскопического материала и слой токопроводящего электрода, имеющего проницаемость для молекул воды. Медный токосъемник, контактирующий с внутренней поверхностью пьезоэлемента, создает дополнительную функцию одного из электродов термопары и контактирует с металлической мембраной. К нему пайкой присоединен константановый термоэлектрод. В узел поджатия элемента входит резьбовая и упорная втулки и переходная гайка. Для контроля давления

употребляется пьезоэлемент цилиндрической формы, который действует с деформацией сдвига. Информация о температуре передается с термоэлектродом и электрического вывода, имеющего соединение с корпусом. Молекулы воды, попадающие в корпус, поглощаются гигроскопическим материалом и вызывают изменение его электрических характеристик.

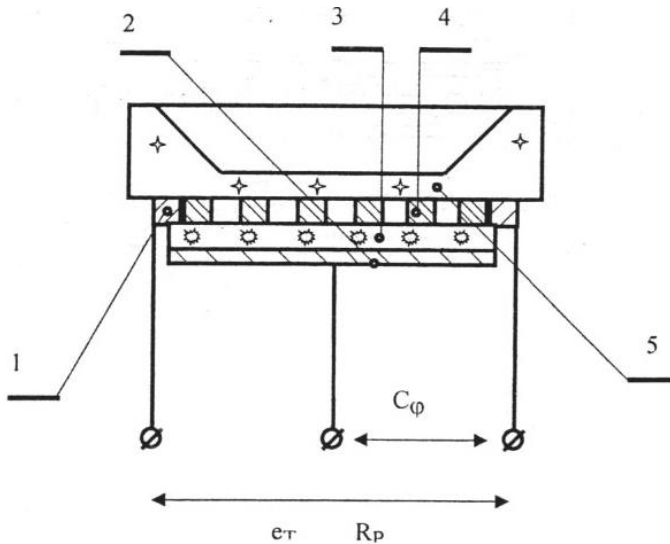


**Рис. 1.8.** Конструкция датчика для контроля давления (P), температуры (T) и относительной влажности воздуха ( $\phi$ ) [8] показана наличием: 1 – мембраны; 2 – медного токосъемника; 3, 4, 14 – электродов преобразователя давления; 5 – чувствительного элемента влажности (окись алюминия); 6 – электрода элемента влажности; 7 – токопроводящего корпуса; 8 – упорной втулки; 9 – резьбовой втулки; 10 – выходного кабеля; 11 – хвостовика; 12 – переходной гайки; 13, 14 – электрических выводов, элементы влажности; 15 – константанового термоэлектрода

Третье устройство трехфункционального датчика показано на рис. 1.9 [8]. В данном случае на мембране образован пленочный терморезистор из константана, с двумя контактными площадками [28]. Одна из них сделана из меди и создает с тензорезистором «горячий» спай термопары.

Тензорезистор покрыт слоем гигроскопического материала (оксид алюминия с алюминиевым электродом), предназначенного для съема измерительной информации об относительной влажности воздуха.

При поиске [8] новых принципов действия техфункциональных датчиков были успешно формализованы и использованы способы разделения входных величин посредством дополнительной детализации семантической записи конкретного способа и употреблением согласно этой детализаций критериев и ограничений.



**Рис. 1.9.** Конструкция датчика температуры (T), давления (P) и относительной влажности воздуха ( $\phi$ ) [8] показана наличием: 1 – контактной медной площадки; 2 – электрода; 3 – оксида алюминия; 4 – константанового электрода; 5 – мембраны

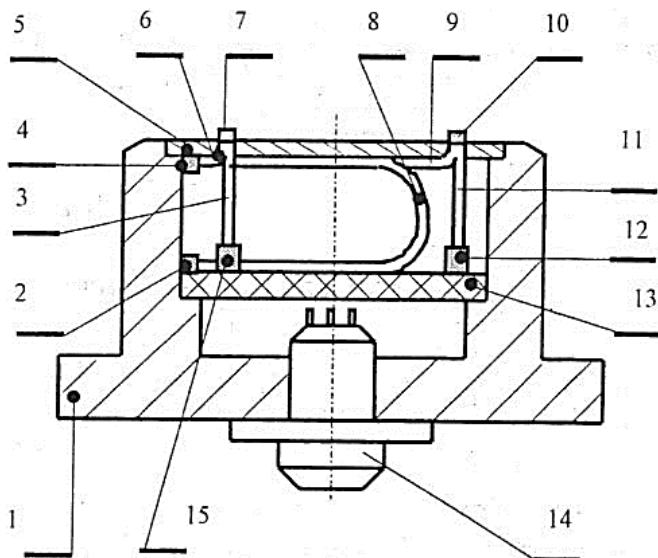
Разработка в подробностях семантической записи способа приведения поиска сочетания физических явлений многофункциональным селективным датчикам проводилась следующим образом [8]:

1. для каждой измеряемой величины чувствительные элементы изготавливали как последовательную цепь измерительных преобразователей;
2. использовали единый тип преобразователя как окончательный измерительный преобразователь для всех определяемых величин, применяющий одно физическое явление и формирующий выходной сигнал по типу единой электрической величины, однородной по своим свойствам;

3. в многофункциональном датчике один из оконечных преобразователей обязательно употребляет, воспринимает и преобразовывает измерительные сигналы, присущие одной из измеряемых величин.

Эту семантическую запись формализовали посредством задания «ярусное» ограничение и ограничение «приоритет по вершинам» [8].

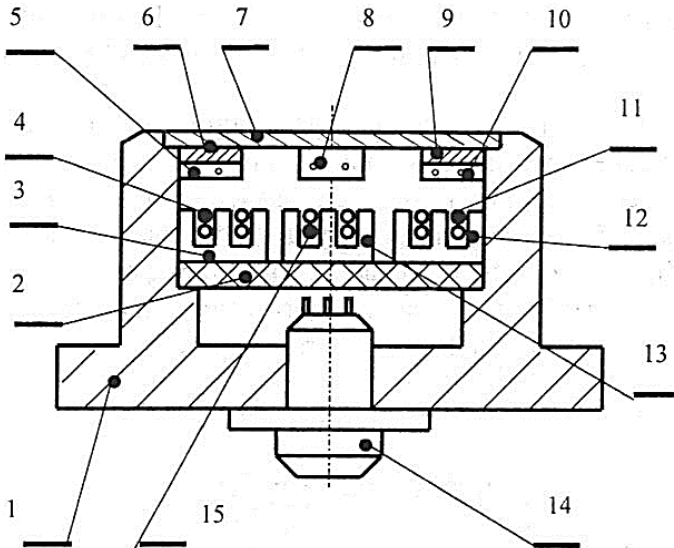
В селективном датчике на рис. 1.10 [8, 29] применен фотоэлемент как оконечный измерительный преобразователь. Перемена давления вызывает перемещение мембраны 5 и изменение радиуса изгиба световода 8, что приводит к изменению его светопропускания и соответственно параметров приемника излучения 2. Импульсом ультрафиолетового излучения через световод 9 вызывается свечение люминофора 10, интенсивность которого тождественно зависит и от температуры. Аналогично импульс излучения источника через световод 6 прибывает на слой люминофора 7. Интенсивность этого импульса определяется относительной влажностью воздуха.



**Рис. 1.10.** Конструкция датчика для измерения давления, температуры и относительной влажности воздуха [8] показана наличием: 1 – корпуса; 2, 12, 15 – приемника излучения; 3, 6, 8, 9, 11 – волоконного световода; 4 – источника излучения; 5 – мембраны; 7, 10 – слоя люминофора; 13 – основания; 14 – разъема



Другой селективный датчик (рис. 1.11 [8]), как оконечный измерительный преобразователь, содержит индуктивный преобразователь [30]. Мембрана данного датчика выполнена из пластины кремния. Три сердечника индуктивных преобразователей закреплены на основании. В центральной части мембраны нанесен слой магнитного материала над сердечником первого индуктивного преобразователя.



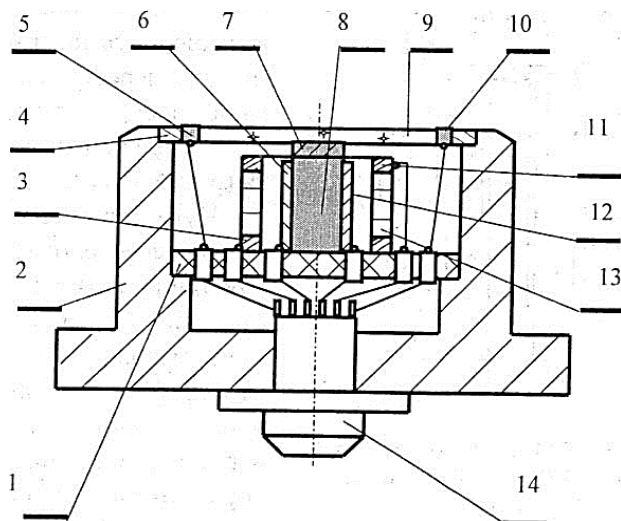
**Рис. 1.11.** Конструкция датчика для измерения давления, температуры и относительной влажности воздуха [8] показана наличием:

- 1 – корпуса; 2 – основания; 3, 12, 13 – сердечника; 4, 11, 15 – обмотки;  
5, 8, 10 – слоя магнитного материала; 6 – слоя термдеформационного материала;  
7 – мембраны; 9 – слоя гидродеформационного материала; 14 – разъема

Мембрана над другими сердечниками в области с минимумом деформаций покрыта слоями термдеформационного и гидродеформационного материалов соответственно, которые, в свою очередь, покрыты слоями магнитного материала.

Изменяя алгоритм способа «исключения», обеспечим совокупность физических явлений в трехфункциональном датчике для измерения светового потока, температуры и давления, в котором световой поток «исключался» посредством мембраны с электрооптическим затвором, а давление –

при помощи введенного в датчик дополнительного пьезоэлемента, который «отгибал» мембрану (с помощью обратного пьезоэффекта) от чувствительного элемента (рис. 1.12) [8, 31].

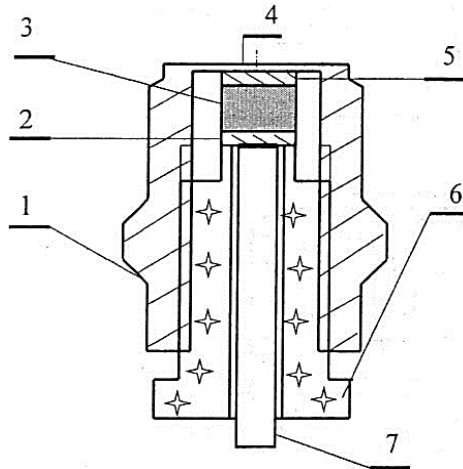


**Рис. 1.12.** Конструкция датчика для измерения давления, температуры и энергии электромагнитного излучения [8] показана наличием: 1 – основания; 2 – корпуса; 3, 11 – электродов кольцевого пьезоэлемента 13; 4 – мембраны; 5, 10 – электродов электрооптического затвора; 9, 6, 12 – электродов чувствительного элемента; 8, 7 – слоя вещества, поглощающего энергию электромагнитного излучения; 14 – электрического разъёма

Синтез принципов действия трехфункциональных перестраиваемых датчиков осуществлялся посредством минимизации «ярусного» ограничения и задания «технологического» ограничения, который состоит в выборе принципов действия селективных датчиков с вполне идентичными материалами [8].

Например, устройство трехфункционального перестраиваемого датчика показано на рис. 1.13 [8, 32]. Процессы измерений трех величин разделены во времени. В результате изменения давления происходит прогибание мембраны, появляются заряды на пьезоэлементе. При контроле относительной влажности воздуха на пьезоэлемент направляется переменный стабильный ток. Влагу поглощает пористый пьезоэлемент, его диэлектрические

характеристики подвергаются изменению, и возникшее падение напряжения находится в зависимости от относительной влажности воздуха. При установлении температуры пьезоэлемент действует как пассивный элемент, потому что его активное сопротивление определяется температурой.



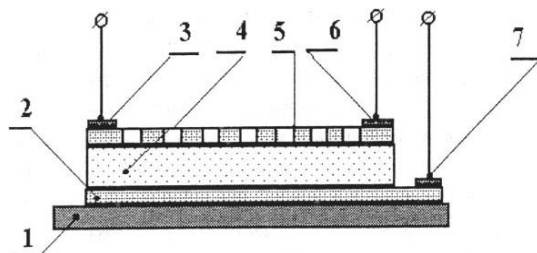
**Рис. 1.13.** Конструкция датчика для определения давления, температуры и относительной влажности воздуха [8] показана наличием:  
 1 – корпуса; 2, 5 – серебряных электродов; 3 – пористого пьезокерамического элемента; 4 – мембраны; 6 – узла поджата пьезоэлемента;  
 7 – токосъемника электрода

В сочетании с критериями совместимости, обязательности и других ограничений появляется возможность создания перестраиваемого трехфункционального датчика температуры, освещенности и относительной влажности воздуха (рис. 1.14) [8, 33].

Чувствительным элементом его является фотоэлемент со структурой металл – диэлектрик-металл (титан – диоксид титана – золото), сделанный в форме пленочного конденсатора. Верхняя обкладка выполнена в виде мандра и представляет собой пленочный термометр сопротивления.

Перемена активного сопротивления этой обкладки определяется температурой. При контроле влажности диоксид титана влага поглощает влагу и изменяются его диэлектрические свойства. Перемена емкости чувствительного элемента обусловлено величиной относительной влажности воздуха. При установлении освещенности возникает фотоэффект в системе

металл – диэлектрик – металл [8]. Длина волны поглощения электронов, производящих фотоэффект, низка. У поверхности границы металла с оксидом электроны возбуждаются и на обкладках чувствительного элемента образуется ЭДС.



**Рис. 1.14.** Конструкция датчика для измерения температуры, освещенности и относительной влажности воздуха [8] показана наличием:  
1 – ситалловой подложки; 2 – титановой обкладки; 3, 6, 7 – контактные площадки;  
4 – диоксида титана; 5 – золотого пленочного терморезистора

### 1.3. Перспективы использования многофункциональных датчиков

Возможность получения многофункциональными датчиками информации о нескольких параметрах на входе, действия которых сконцентрированы в малом пространстве, определена употреблением при разрешении многих задач [8].

Взаимной коррекцией сигналов при определении нескольких физических величин возможно повышение точности измерений этих величин и применение чувствительных элементов из «нестабильных» материалов, для которых свойственна высокая чувствительность. Заметим, что употребление таких материалов в традиционных датчиках в определенной мере ограничено. Единая технология создания измерительно-преобразующей части и чувствительного элемента многофункционального датчика позволяет изготавливать технические средства с широкими возможностями.

В медицинском обследовании при проверке состояния пациента тоже есть потребность в установлении нескольких входных величин (сопротивление электрическому току, биоэлектрические потенциалы и др.). Такая задача возникает при диагностике различных заболеваний биофизическими

методами исследования, когда необходимы измерения нескольких физических величин в локальной области исследуемой ткани [10].

Подобные задачи нужно решать и при диагностике разных машин и механизмов [10]. Например, для исследования рабочего процесса в двигателе внутреннего сгорания требуется измерять в камере сгорания статическое и динамическое давление, температуру в момент воспламенения топлива, концентрацию кислорода и ряд других величин. Такие вопросы нельзя решить при помощи обычных средств измерений и датчиков. В таком случае появляется необходимость в многофункциональном датчике с размещенными в свече зажигания элементами и позволяющими усвоить несколько величин.

Возможно употреблять многофункциональные датчики для диагностики состояния разных машин и механизмов в машиностроительной отрасли; в сельском хозяйстве с целью разработки способов количественного определения влияния разных факторов на состояние, развитие и продуктивность посевов; в медицине и ветеринарии при диагностике состояния и разных заболеваний человека и животных; при установлении различных величин и подаче сигналов аварийной обстановки в космической и авиационной промышленности.

#### **1.4. Коррекция погрешностей измерительных сигналов многофункциональных датчиков**

При оценке погрешностей измерения ряда величин посредством многофункциональных датчиков возникают следующие особенности [8]:

1. в этом случае измерениям подлежат несколько физических величин  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , из которых каждая может, с одной стороны, быть измеряемой величиной, а с другой стороны – воздействовать на процесс измерения всякой другой величины;

2. есть реальная возможность определения экспериментальным или расчетным путем зависимости погрешности каждой величины от воздействия других величин;

3. все величины могут восприниматься одновременно и непрерывно.

В связи с этим для создания таких датчиков с высокими метрологическими параметрами могут применяться теоретические аспекты методов

вспомогательных измерений, основанных на автоматической коррекции погрешности всяких измерительных устройств [34].

Отличительный признак таких методов заключается в обеспечении ими приближения реальной статистической функции преобразования измерительной системы к номинальной характеристике преобразования при воздействии корректирующего сигнала. Для методов вспомогательных измерений свойственны инструментальные погрешности коррекции. Блок-схема с многофункциональным датчиком, который содержит автоматическое введение поправок, показана на рис. 1.15 [8].

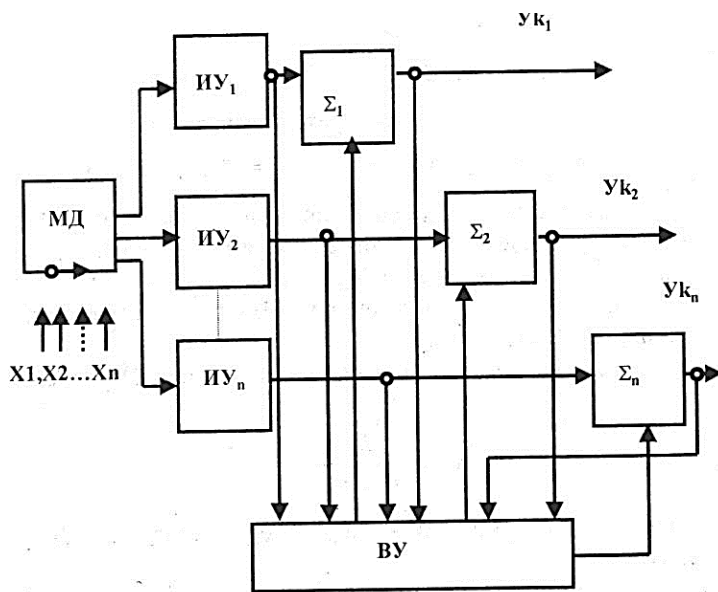


Рис. 1.15. Блок-схема измерительной системы с многофункциональным датчиком, содержащим автоматическое введение поправок [8]

В случае рассмотрения погрешности системы с многофункциональным датчиком принимаем, что измеряемые величины  $X_i = 1, 2 \dots n$  изменяются очень медленно и поэтому динамические свойства измерительных устройств (ИУ) всякой величины  $X_i$  и вычислительного устройства (ВУ) не воздействуют на погрешность коррекции.

Проанализируем работу системы на примере измерения определенной величины  $X_1$  [8].

Влияние величин  $X_2, X_3, \dots, X_n$  приводит к погрешности измерения ИУ<sub>1</sub>, выходной сигнал которого опишется формулой

$$Y_1 = f(X_1) = f_n(X_1) + \Delta b_1, \quad (1.1)$$

где  $f(X_1)$  – реальная статистическая функция преобразования ИУ;  $f_n(X_1)$  – номинальная характеристика преобразования ИУ;  $\Delta b_1$  – погрешность ИУ<sub>1</sub>, приведенная к выходу.

Пусть  $\Delta b_1$  есть известная функция измеряемой величины  $X_1$  и влияющих величин  $X_2, X_3, \dots, X_n$ :

$$\Delta b = F(X_2, \dots, X_n, X_1). \quad (1.2)$$

Выходные сигналы  $Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ , соответствующие  $X_2, X_3, \dots, X_n$ , и выходной скорректированный сигнал  $Y_{k1}$  вводятся в ВУ, которое вычисляет известную функцию этих аргументов с учетом номинального значения  $X_{n1}$  входной величины

$$Y_{k1} [X_{n1} = f_{n1}^{-1}(Y_{k1})]; \quad (1.3)$$

$$\Delta b_{1\text{выч}} = F(Z_2, Z_3, \dots, X_{n1}).$$

В точке суммирования  $\Sigma$  образуется разность

$$Y_{k1} = Y_1 - \Delta b_{1\text{выч}} = f_{n1}(X_1) + \Delta b_1 - \Delta b_{1\text{выч}} = f_{n1}(X_1) + \Delta kb_1, \quad (1.4)$$

где  $\Delta kb_1$  – погрешность коррекции, приведенная к выходу ИУ<sub>1</sub> [8].

Значение  $\Delta kb_1$  определяется погрешностями измерения величин  $X_2, X_3, \dots, X_n$ , устройствами ИУ<sub>2</sub>, ИУ<sub>3</sub>, ..., ИУ<sub>n</sub> и соответствием параметров функции  $\Delta b_{1\text{выч}}$ , заложенных в ВУ, параметрам реальной функции  $\Delta b_1$  для данного ИУ<sub>1</sub>.

Погрешность коррекции, приведенная ко входу ИУ<sub>1</sub>, определится [34]:

$$\Delta k_1 = \Delta kb_1 / f_{n1}(X_1). \quad (1.5)$$

Реальную статическую функцию преобразования ИУ можно представить в виде [8]

$$Y_1 = f_1(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}, \dots, a_p, X_2, X_3, \dots, X_n, X_1), \quad (1.6)$$

где  $a_{11}$  – 1-й параметр статической функции преобразования ИУ<sub>1</sub>.

Номинальная же характеристика преобразования выразится в виде [8]

$$Y_{n1} = f_{n1}(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}, \dots, a_p, X_{n2}, X_{n3}, \dots, X_{nn}, X_1), \quad (1.7)$$

где  $X_{nj}$  – номинальное значение величины  $X_j$  ( $j = 2, 3, \dots, n$ ).

С целью оценки эффективности коррекции проведен расчет погрешности многофункционального датчика относительной влажности и температуры воздуха, выполненного в виде чувствительного кварцевого элемента (по каналу измерения влажности).

Номинальная характеристика чувствительного пьезосорбционного элемента 5К3.184.025 ТУ в диапазоне измерения относительной влажности от 0,1 до 60 % выражается формулой [8]

$$Y_n = a_1 + a_4 X, \quad (1.8)$$

где  $a_1 \approx 5$  кГц,  $a_4 \approx 0,002$  кГц %. Это означает, что при относительной влажности не более 0,1 % частота чувствительного пьезосорбционного элемента равна 5 кГц, а его номинальный коэффициент преобразования составляет 20 Гц на единицу измерения относительной влажности (%).

Так как реальная статическая функция преобразования (и соответственно зависимость погрешности измерения влажности от температуры) нелинейная, приходится учитывать и квадратичный член этой зависимости [8]:

$$Y = a_1(1 + a_2 \Delta T + a_3 \Delta T^2) + a_4(1 + a_5 \Delta T + a_6 \Delta T^2) X. \quad (1.9)$$

Отклонение температуры среды на 10 °С от номинальной (20 °С) вызывает относительное изменение статической функции преобразования на 1 %, а относительное квадратическое ее изменение – на 0,1 %, т.е. [8]:

$$a_2 = a_5 = 10^{-5} \text{ ед./}^\circ\text{С} \text{ и } a_3 = a_6 = 10^{-4} \text{ ед./}^\circ\text{С}.$$

Погрешность чувствительного пьезосорбционного элемента, приведенная к выходу, равна [8]:

$$\Delta_B = \Psi(a_1, a_2, \dots, a_6, \Delta T, X) = a_1 \Delta T (a_2 + a_3 \Delta T) + a_4 T X (a_5 + a_6 \Delta T). \quad (1.10)$$

Пусть составляющие погрешностей равны 1 %, т.е.  $\delta a_1 = 0,01$ ,  $\delta \Delta X_T = 0,01$  и чувствительный пьезосорбционный элемент эксплуатируется в диапазоне температур от 0 до +60 °С. Тогда  $\Delta T_{\max} = 40$  °С.

Тогда погрешность элемента при отсутствии коррекции [8] равна

$$\Delta = 5 \cdot 40 (10^{-3} + 10^{-4} \cdot 40) + 0,002 \cdot 40 X (10^{-3} - 10^{-4} \cdot 40) = 1 + 0,004 X,$$

а при наличии коррекции эта погрешность составит [8]



$$0,01 + 0,00035 X.$$

Если сравнить полученные значения, то видно, что автоматическая коррекция может существенно уменьшить погрешность чувствительного пьезосорбционного элемента. Следует заметить, что данные расчета не противоречат полученным в [8] результатам.

Таким образом, применение методов автоматической коррекции погрешности измерения любой конкретной измеряемой величины многофункционального датчика позволит повысить точность измерения этой величины при условии решения задачи автономизации величин и теоретического или экспериментального выявления зависимости ее от других измеряемых величин.

### 1.5. Повышение точности датчиков

С одиночным датчиком не всегда удастся достигать точной и надежной оценки внешнего параметра [5]. Так, в задаче по определению положений движущегося объекта, чтобы измерять расстояния до препятствия и положения объекта обычно применяется сонар, обладающий рядом недостатков – зеркальным отражением сигналов, широким диапазоном луча и пр. Поэтому для достижения достаточной точности возможно использование дополнительного сенсора иного типа, или же улучшение его интеллектуальности.

Пример разработки измерительного прибора, имеющего высокую точность, показан на рис. 1.16 [5]. Допустим, что в системе используется один или больше датчиков, например, температуры (Д1, Д2). По-видимому, набором нескольких вполне сходных измерительных устройств обеспечивается большая точность, но при помощи нейросетевой надстройки (НС1, НС2) возможно повысить эффективность единичного датчика, что может уменьшить количество необходимых устройств измерения.

К принципам улучшения точности относятся те измерительные приборы, в которых оценка измеряемой физической характеристики зависит от показателя косвенных измерений и является достаточно сложной нелинейной функцией. Возможна аппроксимация этой функции в реальном

измерителе различными методами. Общеизвестно, что нейронные сети являются лучшим аппроксиматором нелинейных функций, а один из критериев качества аппроксимации определяется отношением вычислительных ресурсов к ошибке аппроксимации.

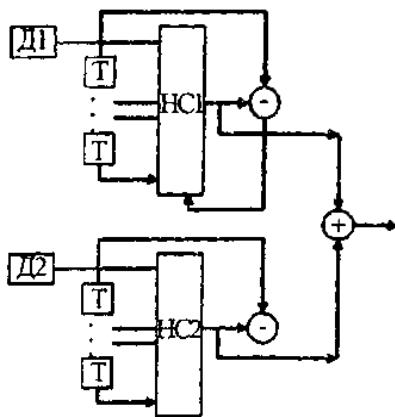


Рис. 1.16. Схема улучшения точности отдельного датчика [5]

В ходе работы создается одна или несколько одномерных функций распределения интенсивности сигнала для зафиксированных моментов времени. Эти одномерные функции являются источниками образования входных признаков адаптивной нейронной сети. К важному моменту относится образование «указаний учителя» нейронной сети, которые создаются на базе результатов предшествующего моделирования или априорных эталонных значений. Сформированная таким образом верифицированная выборка употребляется для обучения нейронной сети, а также для того, чтобы оценить качество работы адаптивного нейросетевого модуля.

Более широкое представление о внешних параметрах рационально применить набор неоднородных датчиков. Если неэффективен один из сенсоров, то остальные сенсоры способны обеспечить устойчивость работы системы. Так, в задачах радиолокационного отыскания целей, по причине определенного расположения сенсоров и способов противодействия, возможно изменение вклада всякого сенсора в общую картину информации. Вполне положительным по своим качествам способом подстройки

аналогичной системы представляется адаптивный нейросетевой блок, образующий набор весовых коэффициентов сенсоров, в связи с их текущей эффективностью (рис. 1.17 [5]).

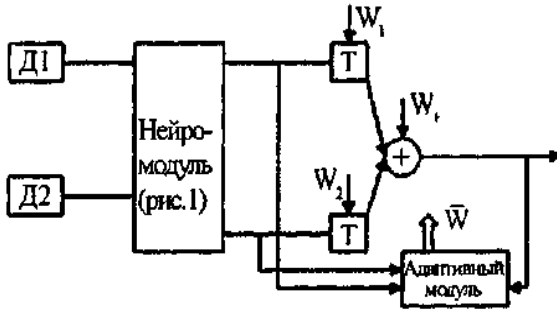


Рис. 1.17. Схема НС с присвоением весовых коэффициентов датчика [5]

Присваивать весовые коэффициенты датчикам можно следующими способами:

- аппроксимацией априорных функций распределения вероятностей выходных данных сенсоров. Во время работы система ищет значение весов, максимизируя функцию, определенную апостериорным распределением выходных данных датчиков (например, по методу Байеса);
- предшествующее моделирование. Значение весов зависит от величины ошибки между желаемым заключением системы и показанием датчика. Система проходит обучение, каким выходным данным сенсора при известных значениях входов соответствует его низкая точность и небольшой вес.

Логичен переход от употребления нескольких нейронных сетей, которые решают локальные задачи улучшения точности и слияния данных, к одному нейросетевому модулю, осуществляющему наряду с вышеуказанными функциями анализ и классификацию входных данных (рис. 1.18 [5]).

Тончайшим местом такой системы представляется сложность формулирования «указаний учителя» для верного процесса обучения. Одно из эффективных решений данной задачи состоит в использовании самоорганизующихся карт Кохонена или иных нейросетевых моделей с «обучением без учителя» [5].

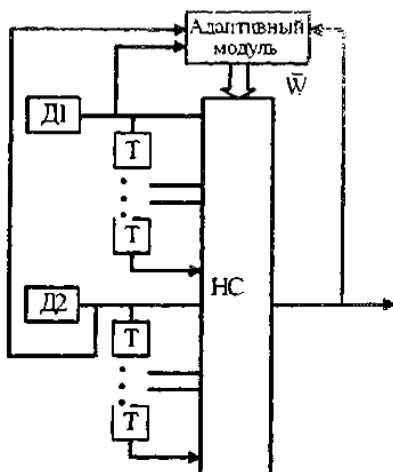


Рис. 1.18. Объединенная схема с управляющим нейросетевым модулем [5]

### Контрольные вопросы

1. Что рассматривает сенсорика?
2. В чем сходство терминов «сенсор» и «датчик»?
3. Почему нейросетевые технологии перспективны для создания современных мультисенсорных систем?
4. Дайте определение термину «мультисенсорная система».
5. Что позволяет организациям, изготавливающим и эксплуатирующим автомобильную технику (АТ) широкое применение электронных устройств?
6. Из каких подсистем должна состоять система непрерывного мониторинга АТ?
7. Охарактеризуйте перспективы применения полупроводниковых материалов для создания многофункциональных датчиков.
8. Какими достоинствами обусловлены перспективы использования пьезоматериалов для создания многофункциональных датчиков?
9. Назовите достоинства волоконно-оптических преобразователей.
10. В чем заключается метод «приведения»?

11. Что предусматривает метод «исключения»?
12. В чем состоит метод «воздействия»?
13. Охарактеризуйте метод, реализующий перестройку параметров и режимов функционирования датчика.
14. Опишите устройство и принцип действия датчика, контролирующего усилия и температуру.
15. На чем основан датчик, измеряющий температуру и пульс.
16. Охарактеризуйте датчик, измеряющий температуру и влажность.
17. Приведите конструкцию датчика, контролирующего температуру и магнитное поле.
18. Как устроен датчик, измеряющий температуру и относительную влажность воздуха?
19. Каковы особенности датчика, контролирующего линейные вибрации и угловое ускорение?
20. Каковы особенности перестраиваемого датчика, контролирующего температуру и освещенность?
21. Дайте характеристику датчикам «Хьюмикерам».
22. Дайте характеристику датчикам, измеряющим давление и температуру.
23. Охарактеризуйте трехфункциональный селективный датчик, включающий кремниевую мембрану.
24. Охарактеризуйте трехфункциональный селективный датчик, содержащий пьезокерамический элемент.
25. Охарактеризуйте трехфункциональный селективный датчик, содержащий пленочный терморезистор.
26. Охарактеризуйте трехфункциональный селективный датчик с фотоэлементом.
27. Охарактеризуйте трехфункциональный селективный датчик с индуктивным преобразователем.
28. Охарактеризуйте трехфункциональный селективный датчик с электродами кольцевого пьезоэлемента.
29. Охарактеризуйте трехфункциональный перестраиваемый датчик.
30. Охарактеризуйте области применения многофункциональных датчиков.

*1. Конструкторско-технологические особенности многофункциональных...*

---

31. Охарактеризуйте особенности оценки погрешностей контроля нескольких величин посредством многофункциональных датчиков.
32. Приведите блок-схему измерительной системы, содержащую многофункциональный датчик с автоматическим введением поправок.
33. Как добиваются улучшения точности единичного датчика?
34. Приведите схему, содержащую управляющий сетевой модуль.

## **2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МИКРО- И НАНОЛАБОРАТОРИИ**

К отличительным свойствам сенсоров микро- и наносистемной техники (МНСТ) как классу твердотельных многофункциональных датчиков относится схемотехническое и конструктивно-технологическое единение на одной пластине совместно с элементами интегральных микросхем (ИС) и наносистем (НС) [7, 35–37].

Сенсорные элементы МНСТ не функционируют самостоятельно, а как часть входят в большую микро(нано)систему, которая состоит из набора цепей, различных по функциональным признакам, аналого-цифровой обработки сигналов и датчиков.

К сенсорным элементам МНСТ относятся элементы ИС (транзисторы, диоды, конденсаторы, резисторы), выполненные по типовым технологическим процессам микро- и нанoeлектроники и микромеханические структуры (мембраны, балки), изготовленные по технологическим процессам МНСТ.

Классификация сенсоров может быть проведена по следующим признакам [35]:

1. по виду конструкции и типу технологии получения – биполярным или МДП- структурам, гибридно-пленочным и т.д.;
2. согласно выходному электрическому сигналу –индуктивным, емкостным, резистивным и т.д.;
3. в соответствии с измеряемым параметром – датчики температуры, магнитного поля, давления и т.д.

По характеру образования сигнала сенсорные элементы могут быть активными и пассивными [35].

### **2.1. Лаборатории на кристалле**

Понятие «лаборатория на кристалле» толкуется как микроминиатюрное средство, служащее для реализации различных химических и физических процессов с низкими объемами и количествами органических и неорганических веществ, находящихся в газообразном или жидком состоянии, при высокой локальности воздействий [35, 38–41].

Размеры у элементов лабораторий в пределах от нескольких мкм до нескольких мм со скоростью перекачки жидкости от нескольких мкл до десятков мл в минуту.

Такие микросистемы употребляются в медицине при химическом анализе крови, жидкостей, ДНК; системах дозирования и введении разных лекарств [35, 38–40].

Сопоставляя традиционным системам анализа лаборатории на кристалле отличаются [35]:

- малым временем отклика;
- низкими потерями;
- высоким значением отношения объема жидкости к площади поверхности. Состав всякой лаборатории на кристалле определяется ее назначением.

При изготовлении лабораторий главным образом применяется LIGA-технология [35], процессы объемной микрообработки кремния, жидкостного травления стекла и сухие пленочные фоторезисторы. Эти технологии снизили стоимость разных подсистем и позволили создать одноразовые подсистемы лабораторий, работающих с образцами при диагностировании опасных заболеваний (СПИД, гепатит и т.д.) [35].

Важное значение при производстве лабораторий на кристалле принадлежит выбору подложки по следующим признакам [35]:

- химической инертностью к реагентам, анализируемым веществам и продуктам реакции;
- возможностью реализации в подложке канала микронных размеров;
- высокими диэлектрическими свойствами.

Несмотря на ряд достоинств лабораторий на кристалле относительно с традиционными системами анализа веществ, при их разработке сталкиваются с проблемами. При уменьшении размеров подсистем встречаются сложности построения моделей процессов, которые протекают в микро- (нано-) системах.

### ***2.1.1. Газовый хроматограф***

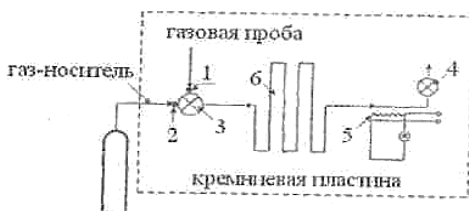
Прототипом интегральной лаборатории на кристалле считается газовый хроматограф (ГХ), изготовленный в начале 80-х гг. в Стэнфордском университете (США) [35].



Газовым хроматографом определяется наличие различных веществ в пробах газов. Математической обработкой сигнала ГХ обеспечивается возможность оценки процентного состава анализируемой смеси.

Принципы газовой хроматографии состоят в нижеприведенных положениях [35]. Газовую смесь пропускают через транспортную систему, с поверхностью с установленными параметрами. При движении газовой пробы с газом-носителем через транспортную систему молекулы газа находятся во взаимодействии со стенками. Это увеличивает различия подвижностей компонентов газовой смеси. Из-за разницы подвижностей компонентов смеси конец системы достигается за разное время. Это дает возможность определять различные фракции. Фиксация моментов поступления компонентов газа к концу колонки производится терморезистором [35].

Устройство ГХ с площадью  $4 \text{ мм}^2$ , который помещен на кремниевую подложку, иллюстрирует рис. 2.1 [35].



**Рис. 2.1.** Структура газового хроматографа [35]:

- 1 – вентиль входа пробы газа; 2 – вентили входа газа носителя;
- 3 – вентиль входа; 4 – вентиль выхода; 5 – терморезисторы;
- 6 – транспортная система

Все элементы ГХ изготовлены фотолитографическим методом, химическим травлением и электростатическим соединением.

Эффективность действия всякого хроматографа зависит от пропорционального отношения коэффициента диффузии аналита и протяженности транспортной системы. Поэтому стремятся повысить длину транспортной системы во время проектирования хроматографа [35].

В обсуждаемом хроматографе транспортная система выполнялась в виде капилляра – как спиральной канавки длиной – 1,5 мм, шириной 200 мкм, глубиной – 40 мкм, достигнутой при помощи изотропного травления подложки кремния. В результате электростатического соединения стеклянной пластины с подложкой кремния спиральная канавка принимает

форму капиллярной газовой разделительной системы. Ее спиральные части изолированы герметично за счет скрепления кремния со стеклом [35].

В колонку газ доходит через вентиль, выполненный в подложке кремния. Тело вентиля изготавливается следующим образом:

1. путем изотропного травления делается углубление, которое создает цилиндр вентиля;
2. выполняется углубление изотропным травлением, с распределенным в нем диафрагмой вентиля;
3. на финальной стадии в пластине анизотропным травлением создаются небольшие входные и выходные отверстия вентиля. Гибкая герметичная диафрагма вентиля сформирована тонким (5...15 мкм) никелевым диском, изгибающимся посредством небольшого соленоида [35].

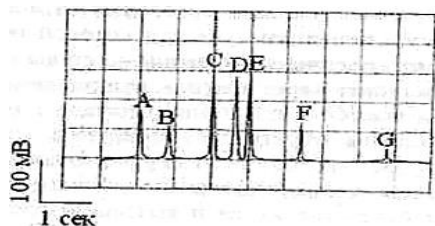
Для того чтобы избежать утечек газа поверхность герметизирующей диафрагмы и тело вентиля, закрывается органической пленкой парилена.

Терморезистор изготавливают методами технологии микроэлектроники на кремниевой пластине. Сначала исходный Si окисляют с двух сторон, и на них возникает защитный слой SiO<sub>2</sub>. Методом фотолитографии на одной стороне создается терморезистор, толщиной 100 нм. На другой стороне пластин в слое SiO<sub>2</sub> вскрываются окна и употребляя технологию объемной микрообработки, удаляется весь кремний до стоп-слоя из SiO<sub>2</sub> на верхней стороне пластины. В результате терморезистор термически изолирован от кремниевой пластины. Разделяемые в капиллярной системе газы пропускаются над терморезистором и затем выпускаются. Так как терморезистор хорошо термически изолирован от остального участка хроматографа, то его сопротивление при некотором расходе пропускаемого газа зависит от теплопроводности газообразной среды. Изменение теплопроводности вызывает перемену локальной температуры терморезистора, а значит, его сопротивления. Из-за предварительного градуирования терморезистора оказывается возможно вследствие перемены его сопротивления установить искомое вещество газовой смеси. Это обеспечивается высоким температурным коэффициентом сопротивления никеля (0,55 % град<sup>-1</sup>) [35].

Работа газового хроматографа охарактеризована в [35].

После продувки системы инертным газом-носителем, который на вход 2 поступает под избыточном давлением 0,2 атм., открывается вентиль 3 и через вход 1 в капиллярную систему поступает проба

анализируемого газа при давлении немного выше, чем 0,2 атм. Затем вводится проба объемом около 5 нанолитров и клапан снова закрывается, а газ-носитель переносит пробу через транспортную систему б. Так как в вытравленном капилляре есть наполнитель для газовой хроматографии, то компоненты, с разным молекулярным весом, переносятся через систему с различной скоростью и поэтому выходят из системы поочередно. Терморезистором 5 воспринимаются колебания теплопроводности газового потока, и перемены его сопротивления вызывают изменения падения на нем напряжения. Вид типичного сигнала с газового хроматографа приведен на рис. 2.2 [35].



**Рис. 2.2.** Выходной сигнал ГХ [35]: А – от азота; В – пентана; С – дихлорметана; D – дихроформа; К – 111-трихлорэтана; F – трихлорэтилена; G – толуола

В комплекте ГХ находится несколько клапанов и вспомогательных газовых каналов. Это дает возможность предварительно подготавливать прибор к работе, в том числе блок продувки, канал выброса неиспользованной пробы, автоматического измерителя интервалов времени.

В [35] сообщается информация о разработке ГХ, который может контролировать в пробе газа содержание 8 составляющих в течение трех минут с абсолютной погрешностью до  $10^{-5}$ .

### 2.1.2. Жидкостный хроматограф

Кроме этого, в жидкостном хроматографе (ЖФ) находится система количественного контроля концентрации всех компонентов, т.е. система обнаружения (совместно с системой, обрабатывающей хроматографический сигнал) [35, 41].

Анализ с высокой чувствительностью сложных смесей в ЖФ обеспечивается рядом блоков.

На рис. 2.3 [35] приведена блок-схема жидкостного хроматографа.

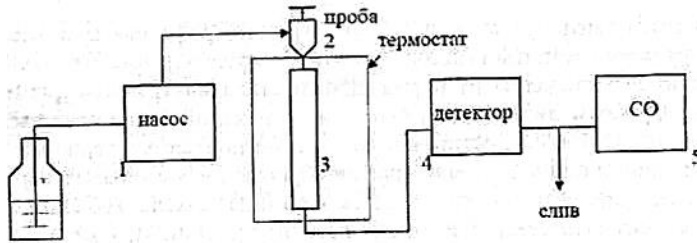


Рис. 2.3. Блок-схема жидкостного хроматографа [35]

Непрерывно составными частями любого хроматографа являются: насос, подающий подвижную фазу через колонку (1), дозатор, с помощью которого вводятся пробы в колонку (2), разделительная колонка является сердцем хроматографа (3), детектор – устройство, при помощи которого получают аналитический сигнал, пропорциональный содержанию компонента (4), наконец система обработки – преобразователь, придающий аналитическому сигналу форму, пригодную для восприятия системой автоматического управления (5) [41].

Для удобства функционирования и увеличения его аналитических возможностей в комплект хроматографа могут входить дополнительные устройства [35, 41].

1. *Устройство, подготавливающее подвижную фазу.* Назначение заключается в фильтровании и дегазации растворителей. Фильтруется путем пропускания растворителя через фильтр 0,2–0,5 мкм перед заливкой его в емкость или путем установки фильтра с небольшим сопротивлением на входе насоса. Дегазация осуществляется вакуумом, а также нагреванием или пропусканием гелия или иного инертного газа через растворитель.

2. *Термостат колонок.* В жидкостных и газовых хроматографах процесс адсорбции – это термодинамический процесс, зависящий от температуры. В связи с этим величина удерживания определяется температурой. От температуры также зависит вязкость растворителя. Это определяет эффективность колонки. Следовательно, от температуры зависят емкость, селективность и эффективность. Для того чтобы стабилизировать условия разделения и получить воспроизводимое время удерживания, амплитуды пиков и хорошее разделение, колонки требуется термостатировать. Как правило температура термостата 30–50 °С, со стабильностью поддержания температуры – 0,3–0,5 °С. Изменения температуры в комнате не очень большие,

поэтому у большинства жидкостных хроматографов нет термостатов, поскольку и так достаточно приемлемая воспроизводимость показаний.

3. *Послеколоночный реактор*. Если трудно найти подходящий способ непосредственного обнаружения веществ (определение тяжелых металлов, анализ аминокислот и т.д.), поступающих из колонки, то после нее ставят реактор, который смешивает реагент и разделенные вещества (например, металлы). Тогда получают интенсивно окрашенное соединение, хорошо детектируемое с помощью фотометра.

4. *Автоматический дозатор (автосамплер)*. Требуется при неоднократном повторении анализа крупных серий однотипных образцов. Тогда употребляется 1 расход растворителя и 1 колонка. После завершения анализа (выхода последнего пика) автоматически вводят следующую пробу. Пробы заливаются в ампулы и устанавливаются на специальный столик. Проба из ампулы всасывается специальным насосом и прокачивается сквозь пробоотборную петлю дозатора. При повороте дозатора петля прополаскивается элюентом и проба прибывает в колонку [35].

5. *Градиентное устройство*. В случае разделения сложных смесей в отдельных случаях необходимо при разделении менять состав растворителя по установленному закону для убыстрения анализа и лучшего разделения. Вот эта роль принадлежит градиентному устройству.

Все узлы ЖГ связаны между собой при помощи транспортных систем (насос – дозатор – детектор). Для этого, как правило, применяют капилляры из нержавеющей стали, с внутренним диаметром 0,2–0,3 мм, наружным диаметром 1,0–1,6 мм, способные выдержать давление до 1000 атм.

Они в достаточной степени гибкие и не подвергаются коррозии. В ионной и ионообменной хроматографии нержавеющая сталь обладает недостаточной коррозионной стойкостью, т.е. с реагентами протекают реакции железа, кобальта, марганца и никеля. Это приводит к существенным помехам при детектировании в пробе этих металлов. Поэтому капилляры изготавливают из титан-циркониевых сплавов [35, 41].

За границей имеют распространение капилляры из полиэтэрэтеркетона, у которых высокая коррозионная стойкость и большая механическая прочность (выдерживают давление до 300–400 кгс/см<sup>2</sup>). Однако у них стоимость в 4–5 раза превышает стоимость титановых капилляров. Употребление

фторопластовых капилляров не оправдало себя, так как у них недостаточная механическая прочность [35, 41].

У сорбентов, которые используются в жидкостных хроматографах, высокая скорость массопередачи. Это обеспечивается уменьшением размеров частиц сорбента. Это условие делает возможным работать при больших линейных скоростях потока подвижной фазы, что разрешает сильно сократить время анализа. Однако при частицах сорбента малых размеров высокая скорость потока через колонку может достигаться подачей растворителя в колонку при высоком давлении (до 150–250 атм.) [35, 41].

Для того чтобы увеличить скорости разделения у колонок, делают небольшой размер, но при этом, чем колонка меньше, тем меньше, во избежание перегрузок, должен быть объем пробы, которая вводится (не более 1 % от объема колонки). В итоге снижается и объем растворителя, подходящего хроматографическому пику. Для удаления расширения пика в детекторе его объем не должен превышать 10 % от объема минимального пика (не более 10 мкл). Поскольку очень мало пробы вводится в дозатор, то у детектора в хроматографе должна быть высокая чувствительность [35, 41].

В табл. 2.1 представлены параметры хроматографической колонки.

Таблица 2.1

**Характеристики жидкостного хроматографа [35]**

Параметр	Значение
Размер частиц сорбента, мкм	5–7,5
Длина колонки, см	15–25
Внутренний диаметр, мм	4,6
Расход подвижной фазы, мл/мин	1–2
Линейная скорость подвижной фазы, см/мин	15
Рабочее давление на входе в колонку, атм	50–200
Продолжительность цикла разделения, мин	10

**2.2. Детектирующие устройства микроlaborаторий**

Детектором служит преобразователь в электрический сигнал концентрации анализируемого вещества, которое растворено в подвижной фазе [35, 41].

## 2.2. Детектирующие устройства микролабораторий

В ранних конструкциях хроматографов подвижная фаза, прошедшая через колонку с компонентами пробы, собиралась в небольшие сосуды и после этого методами полярографии, титриметрии, колориметрии и т.д. устанавливалась концентрация компонента в этой дозе. Следовательно, были разделены во времени и пространстве процессы разделения пробы и установления ее количественного состава. В теперешних хроматографах эти процессы объединяются в одном приборе [35, 41].

Для того чтобы детектировать компоненты пробы, могут использоваться любые физические или химические свойства подвижной фазы (показатель преломления, поглощение света, излучение света, электропроводность и т.д.), которые изменяются в присутствии в ней молекул разделяемых соединений. Среди известных 50 физико-химических методов детектирования в настоящее время активно употребляется только шесть [35, 41].

При проектировании хроматографических детекторов наибольшее затруднение вызывало необходимость сочетания малых объемов ячеек с большой чувствительностью (из-за малого объема и малой концентрации пробы).

В табл. 2.2. приведены параметры употребляемых детекторов хроматографов [35, 41].

Таблица 2.2

**Параметры детекторов хроматографов [35]**

Детектор	Измеряемое свойство	Чувствительность, мг	Селективность
Фильтровый фотометрический	Оптическая плотность на определенной длине волны, пропускаемой фильтром	$10^{-10}$	Высокая
Спектрофотометрический	Оптическая плотность на выбранной длине волны монохроматора	$10^{-9}$	Высокая
Рефрактометрический	Разность показателей преломления растворителя и раствора с пробой	$10^{-6}$	Низкая
Флуориметрический	Интенсивность излучения молекул пробы в элюенте	$10^{-11}$	Очень высокая
Амперометрический	Ток окисления или восстановления электрохимически активных соединений	$10^{-9}$ – $10^{-11}$	Очень высокая
Кондуктометрический	Электропроводность ионов пробы в элюенте (воде)	$10^{-10}$	Низкая

### 2.3. Наносенсорная нейрноподобная система «электронный нос»

В [37] представлена мультисенсорная система, которая обеспечивает определение в воздухе бензола, нитрометана и гексана. Оперативный количественный и качественный контроль проб достигался за счет применения искусственных нейронных сетей.

Мультисенсорная система может применяться для мониторинга окружающей среды. Она обладает свойствами обучения и адаптации для определения паров веществ и является прототипом системы вида «электронный нос» [37].

По чувствительности и селективности ряд известных сенсоров неприемлем для проведения контроля многокомпонентных газовых смесей и для прямых определений концентрации большого количества компонентов.

Перспективным направлением развития сенсорики представляется применение мультисенсорных систем на базе неселективных материалов и методов обработки информации, поступающей от таких сенсорных систем опираясь на современные достижения по распознаванию образов. К таким системам имеет касательство "электронный нос" – аналитическое устройство, сочетающее в себе массив неселективных сенсоров, которые обладают высокой перекрестной чувствительностью и способностью распознавать образы многомерной калибровки для обработки информации, поступающей от такого массива [7].

Перспективными путями разработки новых электронных систем представляется осуществление творческих замыслов в области наноматериалов и нанотехнологий.

**Нанотехнология** – это сочетание способов и приемов, при помощи которых можно контролируемым образом создать и модифицировать объекты с компонентами, размерами от 1 до 100 нм, хоть бы в одном измерении [7]. Значительное число наноматериалов имеют принципиально новые качества, существенно превосходящие качества макро-размерных материалов.

Под термином "**наноэлектроника**" понимается процесс перехода от элементов микронных и субмикронных размеров полупроводниковой электроники к элементам с нанометровыми размерами [7].



Особенностью нанoeлектроники является то, что в элементах с такими размерами возникает преобладание квантовых эффектов. Появляются новые свойства и новые заманчивые перспективы их использования. Поскольку в случае перехода от микро- к нанoeлектронике квантовые эффекты часто относятся к паразитным, то электроника с применением квантовых эффектов – это уже основа новейшей, наногетероструктурной электроники.

Одним из приоритетных путей развития нанoeлектроники является технология «кремний-на-изоляторе», разрешающая получать пленки кремния с нанометровой толщиной. Это создает основу для получения вновь открытых кремниевых элементов нанoeлектроники, в том числе высокочувствительных сенсоров, для определения сверхнизких концентраций газообразных веществ [7].

В «электронный нос» включаются мультисенсорные системы распознавания газообразных веществ, действующие на различных физических принципах, в том числе портативные газовые хроматографы, портативные анализаторы подвижности ионов, в отличие от традиционных сенсорных систем, которые требуют высокоселективные чувствительные элементы, «электронный нос» употребляет набор относительно неселективных сенсоров.

Реализация систем вида «электронный нос» возможна вследствие современных технологических процессов нанoeлектроники и методов обработки многопараметрической информации [7].

Нанотехнологии пополняют число материалов, употребляемых для изготовления сенсоров, и достигают наивысших параметров устройств. Они включают нанокomпозиционные материалы, содержащие полимеры, оксиды металлов и наночастицы металлов. На этих материалах основан новый тип химических сенсоров с высокой чувствительностью и селективностью, быстрым обратимым адсорбционным откликом и, что очень важно, действующих при комнатной температуре [42].

Перспективным направлением для реализации «электронного носа» представляется совокупность нанокomпозиционных материалов разного химического состава. Композиты с полимерной матрицей возможно синтезировать с употреблением различных наполнителей.

По мере изменения вида наполнителя, его концентрации, толщины пленки происходит обеспечение необходимого спектра сенсорных свойств,

а именно – селективности и чувствительности к разным газам. При изменении концентрации металла в композите около порога перколяции существенно изменяется морфология пленки, а стало быть, и ее чувствительность к газам. Чувствительный элемент наносенсора имеет структуру, приведенную на рис. 2.4 [7].

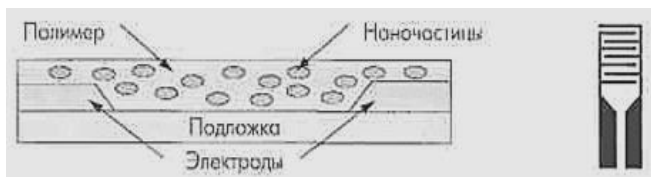


Рис. 2.4. Структура чувствительного элемента наносенсора [7]

В случае создания сенсоров для мультисенсорной системы недостатки способа вакуумной сокоденсации переходят в его достоинства. Это объясняется тем, что точную воспроизводимость свойств пленок нельзя достигнуть этим способом, так как невозможно технологически нанести покрытие с заданной концентрацией металла около порога перколяции.

Одинаковые сенсоры для мультисенсорной системы не требуются, и не обязательна воспроизводимость свойств тонких пленок, так как необходимо, чтобы каждая мультисенсорная система была составлена из индивидуального набора сенсоров.

Если имеется набор из нескольких десятков сенсоров с разной близостью к порогу перколяции и с различными типами наночастиц-наполнителей, то предоставляется возможность оптимизации отклика мультисенсорной системы в общем – сообразно с поставленной аналитической задачей.

Нейроподобная наносенсорная система «электронный нос» включает следующие компоненты (рис. 2.5 [7]):

- систему пробоотбора, доставляющую газовую пробу из контролируемого воздушного объема к сенсорной матрице. В систему пробоотбора входит система регенерации, предназначенная для приведения работоспособности сенсорной матрицы в прежнее состояние после влияния на нее компонентов воздушной среды;

- матрицу высокочувствительных полупроводниковых сенсоров, анализирующих состав газовой фазы. Требуется, чтобы сенсоры в матрице различались по своим основным параметрам (селективность, чувствительность),

количество их может изменяться от единиц до нескольких десятков соответственно назначению и техническим возможностям обработки сигнала. Чувствительными элементами мультисенсорной системы могут служить наноструктурированные материалы и полимерные нанокомпозиты, по-разному меняющие свою электропроводность под влиянием разных веществ;

- аналоговый преобразователь выходного сигнала сенсоров в цифровой код АЦП E-24. Его параметры: восемь каналов (работают четыре канала одновременно); тип/разрядность АЦП сигма-дельта АЦП AD 7714/24 бита; диапазон входного сигнала  $\pm 2,5$  В (программно устанавливаемый коэффициент усиления от 1 до 128); частота преобразования, максимальная – 1 кГц; потребление не более 4 мА (питание от COM-порта, при подключении к порту RS-232, у которого отсутствует двухполярное питание, для работы с модулем понадобится внешний блок питания +12 В); габариты – 122x70x28 мм;

- цифровой контроллера для предварительной обработки сигнала сенсоров и организации стандартного интерфейса для связи с компьютером.

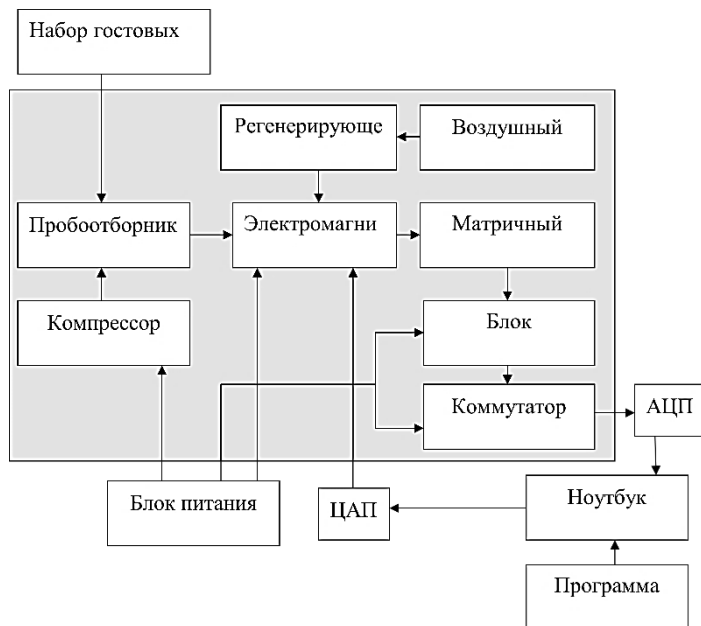


Рис. 2.5. Структурная схема

Принцип действия системы основывается на измерении электропроводности набора химических сенсоров при взаимодействии их с парами летучих веществ. Из-за адсорбции молекул анализируемого вещества возрастает электропроводность чувствительных материалов сенсоров. Каждый сенсор не строго селективен по отношению к какому-либо газу. Однако должна быть индивидуальной мера отклика любого сенсора из набора на разные газы.

Путем математической обработки информации сенсорного массива позволяет сформировать исключительный химический образ анализируемого вещества.

Как правило, сенсорный массив включает от 4 до 30 элементов. Массива из восьми чувствительных элементов показан на рис. 2.6.

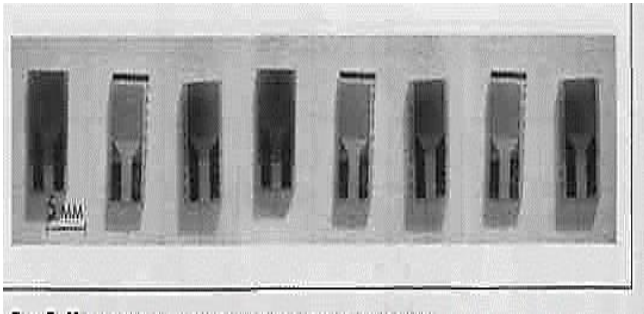


Рис. 2.6. Массив из восьми чувствительных элементов [7]

Исключительный образ запаха вещества создается при употреблении отличающихся друг от друга чувствительных элементов сенсоров, реализованных с помощью нанотехнологий (рис. 2.7).

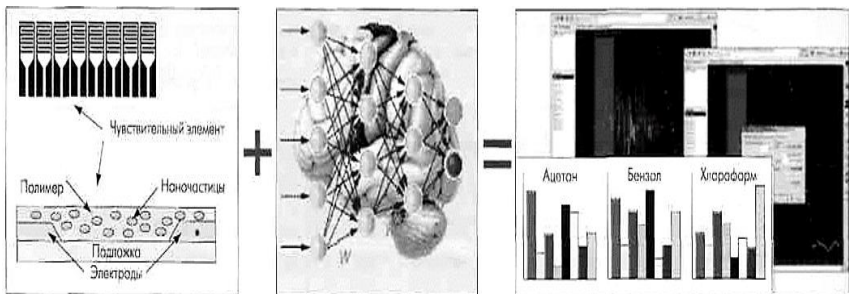


Рис. 2.7. «Формула» распознавания [7]

Рис. 2.8. иллюстрирует макет наносенсорной нейроподобной системы типа «электронный нос» для контроля в реальном масштабе времени верхнего содержания широкого круга веществ.

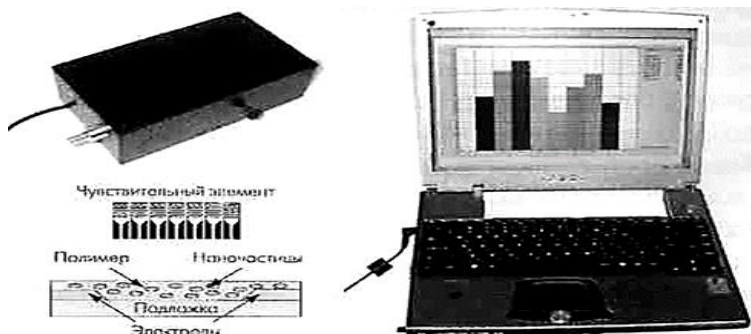


Рис. 2.8. Макетный образец [7]

Наносенсорная нейроподобная система вида «электронный нос» является ключевым путем развития электроники.

Варианты ее реализации представляются инновационными, поскольку направлены на получение продукции, которая востребована на рынке [7].

## 2.4. Мультисенсорные системы типа «электронный язык»

В любую мультисенсорную систему (МС) обязательно входит три обязательных функциональных компонента: массив сенсоров, блок сбора данных и блок обработки данных (рис. 2.9).

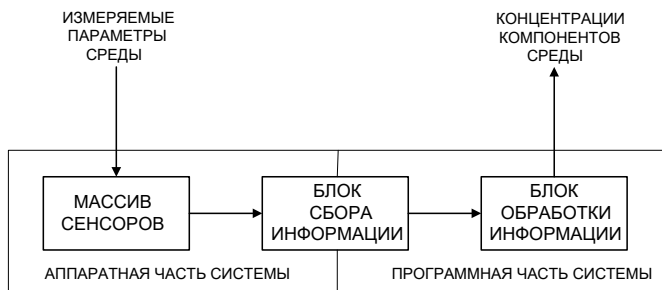


Рис. 2.9. Основные компоненты каждой мультисенсорной системы

### 2.4.1. Массив сенсоров

Массив сенсоров является основополагающим функциональным компонентом МС. Предложены различные варианты массивов сенсоров. Их классифицируют по следующим признакам:

- в зависимости от природы отклика: потенциметрические, вольт-амперометрические, импедансные и др.;
- от способа размещения сенсоров в массиве: индивидуальные сенсоры, закреплённые, например, на штативе, сенсоры, сформированные на монокристаллической подложке в едином технологическом процессе;
- наличие электрода сравнения (для ионоселективных электродов и химически чувствительных полевых транзисторов).

Главное требование к сенсорам – перекрёстная чувствительность (в литературе также встречается синонимичный термин «глобальная селективность») всех сенсоров ко всем анализируемым компонентам [43]. Любой сенсор некоторым образом реагирует на изменение концентрации того или иного иона (это часто справедливо не только для ионных соединений, но и для молекулярных, в том числе органических). Выявить долю вклада каждого иона в общий суммарный отклик единичного сенсора не представляется возможным. Даже если сенсор достаточно селективен, то целевой ион может быть определён с очень низкой точностью в присутствии иных (мешающих) ионов.

Однако оценка величин отклика нескольких сенсоров в совокупности и одновременно может дать в неявном виде всю необходимую информацию о вкладе каждого иона в общие отклики сенсоров. Причина заключается в том, что отклики нескольких перекрёстно-чувствительных сенсоров, по отдельности не несущие никакой ценной информации, в совокупности формируют уникальные образы (паттерны) откликов.

Данная методика также употребляется для создания специфического типа МС – «электронных языков» (ЭЯ), способных качественно и полуколичественно (экспертно) распознавать разнообразные вкусы. ЭЯ зачастую имеют много общего с мультисенсорными мониторинговыми системами. Основным их отличием является экспертный (полуколичественный) характер оценивания вкуса, тогда как МС для экологического мониторинга необходима наиболее высокая степень точности определения содержания тех

или других ионов, соединений. Наряду с этим массивы сенсоров в МС ЭЯ и в мониторинговых МС могут быть идентичными, как, например, во многих исследованиях Ю. Г. Власова, А. В. Легина и др. [44].

#### 2.4.1.1. Потенциометрические электроды

Потенциометрические методы базируются на измерении электродвижущих сил (ЭДС), которые возникают между двумя электродами:

$$E = E_1 - E_2,$$

где  $E$  – ЭДС;  $E_1$  и  $E_2$  – потенциалы электродов.

Потенциал потенциометрических сенсоров определяется обычно по отношению к специальным электродам – электродам сравнения. К одним из наиболее распространённым электродам сравнения относится насыщенный каломельный электрод.

Если МС эксплуатируется в полевых, а не в лабораторных условиях, то присутствие в его конструкции электродов сравнения может быть существенным недостатком вследствие наличия в них ядовитых веществ (ртуть и др.).

В современности известны подходы, позволяющие обходиться без электродов сравнения в массиве сенсоров МС [44, 45].

Среди всех видов потенциометрических сенсоров наибольшее применение получили рН-электроды и ионоселективные электроды (ИСЭ). Устройство и принцип действия ИСЭ такой же, как и у стеклянных рН-электродов. Существенное отличие состоит в составе стекла, из которого созданы мембраны [46].

Важным параметром ИСЭ есть его коэффициент селективности, показывающий во сколько раз электрод более чувствителен к данным ионам, чем к посторонним (мешающим). Например, если коэффициент селективности  $\text{Na}^+$ -селективного электрода по отношению к ионам калия  $\text{K}^+$  составляет  $K_{\text{Na}^+, \text{K}^+} = 1000$ , то это означает, что данный электрод в 1000 раз чувствительнее к ионам  $\text{Na}^+$ , чем к ионам  $\text{K}^+$ . Иными словами, если ИСЭ имеет некоторое значение потенциала  $E$  при концентрации ионов натрия, равной  $[\text{Na}^+] = 10^{-3}$  моль/л, то для достижения этого потенциала потребуется концентрация ионов калия в 1000 раз бóльшая, т.е.  $[\text{K}^+] = 1$  моль/л [46, 47].

Экспериментально определённые значения коэффициентов селективности для различных моделей ИСЭ приведены в технических отчётах ИЮПАК [48].

Большинство ИСЭ имеют невысокую селективность в многокомпонентных растворах. Влияние мешающих ионов на отклик оценивается по уравнению Никольского – Эйзенмана:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{z_i F} \ln \left( a_i + \sum_{j=1}^n K_{ij} a_j^{z_i/z_j} \right), \quad (2.1)$$

где  $E^\circ$  – стандартный электродный потенциал;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура;  $F$  – постоянная Фарадея;  $z_i$  и  $z_j$  – заряды основного и мешающего ионов соответственно;  $a_i$  и  $a_j$  – активности (активные концентрации) основного и мешающего ионов соответственно;  $K_{ij}$  – коэффициент селективности ИСЭ к основному иону  $i$  в присутствии мешающего иона  $j$  [49].

При подстановке в уравнение (2.1) числовых значений постоянных  $R$  и  $F$  и переходе от натуральных логарифмов к десятичным, при  $T = 298$  К получаем

$$E = E^\circ + \frac{0,059}{z_i} \lg \left( a_i + \sum_{j=1}^n K_{ij} a_j^{z_i/z_j} \right).$$

С учетом того, что анализируемые пробы, как правило, являются разбавленными растворами, можно (аналитическую) концентрацию ионов приравнять к их активной концентрации (активности).

Для сложных растворов вопрос о том, который из ионов основной, может являться неочевидным. Соответственно коэффициенты селективности становятся величинами, всё более отдалёнными от реальности и практического смысла [49].

Ю. Г. Власов, А. В. Легин и др. предложили эмпирический метод оценки перекрестной чувствительности. Для этого применяются три параметра: средний наклон  $S$ , фактор воспроизводимости  $K$  и фактор неселективности  $F$ , описывающие чувствительность и воспроизводимость отклика сенсора, а также его селективность по отношению к изучаемым ионам. Первоначально эти параметры были определены для сенсоров с халькогенидными стеклянными мембранами относительно группы катионов переходных металлов.



После этого такой подход был использован для оценивания перекрестной чувствительности другими сенсорными материалами (например, полимерными) к иным группам ионов [50].

Расчет вышеуказанных параметров проводится по экспериментальным данным, полученным калибровочными измерениями в растворах определенного набора веществ (ионов) при помощи ранее выбранных сенсорных материалов, перекрестная чувствительность которых будет исследоваться [50].

Первым и наиболее важным параметром перекрестной чувствительности является средний наклон  $S$ , определяющийся в индивидуальных растворах выбранного набора веществ:

$$S = \frac{1}{n} \sum_i S_i,$$

где  $S_i$  – угловой коэффициент электродной функции сенсора в калибровочных растворах, содержащих индивидуальные вещества, перекрестная чувствительность к которым изучается;  $n$  – число изучаемых веществ. Таким образом, данный параметр представляет собой усредненную чувствительность сенсорного материала к определенной группе веществ (ионов).

Второй параметр – фактор стабильности  $K$  – это усредненный по всем изучаемым веществам соотношением сигнала к шуму для сенсорного материала:

$$K = \frac{1}{n} \sum_i K_i = \frac{1}{n} \sum_i \frac{S_i}{s_i^2},$$

где  $S_i$  – коэффициент электродной функции сенсора в растворах выбранных веществ;  $s_i$  – стандартное отклонение коэффициента электродной функции сенсора в растворах выбранных веществ. Очевидно, что стандартное отклонение рассчитывается по параллельным измерениям и характеризует воспроизводимость электродных характеристик сенсорного материала в изучаемых растворах.

Третьим параметром – фактором неселективности  $F$  – характеризуется равномерность распределения чувствительности сенсорного материала к выбранному для изучения набору веществ:

$$F = \frac{S}{s^2},$$

где  $S$  – средний наклон;  $s$  – стандартное отклонение среднего наклона, рассчитываемое по значениям коэффициентов электродной функции сенсора в растворах индивидуальных веществ [49].

Чувствительность сенсора к набору исследуемых веществ тем выше, чем выше величина среднего наклона. Оптимальное значение этого параметра оценивается в каждом конкретном случае. Предположим, изучается перекрестная чувствительность сенсорного материала к набору двухзарядных ионов. В этом случае угловой коэффициент электродной функции будет, скорее всего, изменяться в диапазоне от 0 (отсутствие чувствительности) до  $29 \text{ мВ} \cdot (\text{pX})^{-1}$  (отклик в соответствии с уравнением Нернста). Таким образом, величина среднего наклона, близкая к  $29 \text{ мВ} \cdot (\text{pX})^{-1}$ , свидетельствует об одинаково высокой чувствительности ко всем изучаемым ионам. На практике одинаковая чувствительность к широкому набору ионов практически не встречается. Поэтому можно считать, что сенсорные материалы со средним наклоном  $>25 \text{ мВ} \cdot (\text{pX})^{-1}$  обладают высокой перекрестной чувствительностью и могут быть включены в состав мультисенсорной системы для определения данного набора ионов. Однако в некоторых случаях средний наклон сенсорного материала для набора двухзарядных ионов может превышать величину  $30 \text{ мВ} \cdot (\text{pX})^{-1}$ , что связано с суперчувствительностью к одному или нескольким ионам [50].

Для того чтобы оценить в данной ситуации обладает ли сенсор перекрестной чувствительностью, рассматривают фактор неселективности, описывающий равномерность распределения чувствительности по ионам. Фактор неселективности менее 0,1 типичен для высокоселективных сенсоров, проявляющих высокую чувствительность только к одному основному иону. Величина фактора 0,1 свидетельствует о наличии чувствительности к нескольким ионам из числа исследованных. Для материалов с относительно равномерной чувствительностью ко всем ионам эта величина должна быть больше 1. Как правило, полагают, что значение фактора неселективности 0,5 и выше свидетельствует о наличии перекрестной чувствительности данного сенсорного материала к изученному набору ионов. На практике необходимо учитывать оба параметра: средний наклон и фактор неселективности. Например, сенсор, обладающий одинаково низкой

чувствительностью ко всем изучаемым ионам, будет иметь высокое значение фактора неселективности, но низкое значение среднего наклона [49].

Фактор стабильности применяется для оценки воспроизводимости электродных характеристик сенсорных материалов. Хотя его определение проводят в растворах индивидуальных веществ, очевидно, что воспроизводимость электродных характеристик сенсорных материалов в них коррелирует с воспроизводимостью в смешанных растворах, содержащих эти вещества. Чем выше значение фактора стабильности, тем выше воспроизводимость. Установлено, что сенсоры с фактором стабильности  $\geq 2$  могут использоваться в составе мультисенсорной системы [49].

*А. В. Легин, А. М. Рудницкая, Ю. Г. Власов и др.* (рис. 2.10) доказали возможность проводить потенциометрические измерения, не используя электрод сравнения. В этом случае измеряется разность потенциалов между всеми парами ИСЭ в массиве сенсоров. Некоторые из полученных таким образом значений разностей потенциалов будут избыточными и отбрасываются в процессе обработки данных. Было показано, что аналитические характеристики МС не зависят от употребления при измерениях электрода сравнения [49].

*N. Abu-Khalaf et al.* [51] рассмотрели возможность идентификации органических загрязнителей МС на основе потенциометрических сенсоров. Была изучена возможность определения *n*-масляной кислоты, изовалериановой кислоты, 3-метилиндола (скатола), фенола, 4-метилфенола (*p*-крезола), которые в большом количестве содержатся в стоках животноводческих хозяйств.



Рис. 2.10. Лабораторный прототип МС ЭЯ на основе ИСЭ [49]

Массив сенсоров данной МС ЭЯ состоял из 14 потенциометрических электродов. Одиннадцать из них – мембранные электроды, пластифицированные поливинилхлоридом. Два – халькогенидные стеклянные электроды (рН-электрод, хлорсеребряный электрод сравнения). Один – проволочный электрод [51].

Четыре группы экспериментов были выполнены отдельно: две группы загрязнителей с двумя разными кислотностями. В первой группе содержались *n*-бутираты, изовалераты, феноляты, скатол и ионы аммония. Во второй группе ионы аммония были заменены на *n*-крезоляты. Растворителем являлась деионизованная вода. Величина рН регулировалась добавлением NaCl или HCl. При значении рН = 8 использовался буфер  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  [51].

Массив сенсоров погружался в тефлоновый контейнер вместительностью 100 мл с магнитной мешалкой, содержащий анализируемую смесь. Пяти минут было достаточно для электродов, чтобы достигнуть стабильных потенциалов во всех случаях. Между измерениями электроды несколько раз промывались до достижения изначальных показаний измерительного прибора [51].

Исследователи Университета «Тор Вергата» (г. Рим) *G. Virrelli et al* [52] изготавливали потенциометрические микроэлектроды на трёхдюймовых полированных кремниевых (100)-ориентированных подложках со слоем оксида 500 нм. Для каждой подложки было изготовлено два разных типа платиновых микроэлектродов. Далее электроды были модифицированы ионофорами – разными комплексными соединениями (порфиринами и др.). Мембраны на поверхности электродов формировались следующим образом: 33 мг поливинилхлорида растворяли в 1 мл тетрагидрофурана. Затем добавляли ионофор (1 мас. %) и пластификатор (себациновая, или декандиовая кислота, 66 мас. %).

Потенциометрические свойства вновь изготовленных сенсоров (рис. 2.11, 2.12) были оценены спустя один день нахождения сенсоров в 0,01 М растворе NaCl. Все потенциометрические измерения были выполнены посредством измерения разностей потенциалов между электродами массива сенсоров и электродом сравнения (AMEL, стандартный каломельный электрод, модель 303/SCG/6). Свойства каждой мембраны

проверялись пошаговым изменением концентрации разных ионов в диапазоне  $10^{-5} \dots 10^{-1}$  моль/л через каждые 100 с [52].



Рис. 2.11. Фотография микроэлектродов

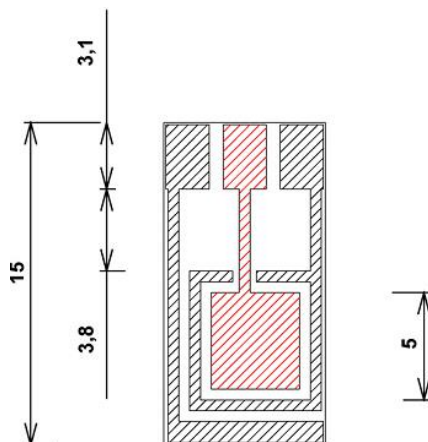


Рис. 2.12. Структура поверхности микроэлектродов. Область осаждения ПВХ-мембраны располагается по центру

#### 2.4.1.2. Химически чувствительные полевые транзисторы

Впервые использование полевого транзистора (ПТ) в качестве сенсора было предпринято Бергвальдом в 1970 г. при измерении pH-растворов. Аббревиатура МОП указывает на сэндвичевую структуру «металл–оксид–полупроводник» устройства ПТ (рис. 2.13). Полупроводник может быть *n*-типа или *p*-типа, поэтому его относят к NМОП или PМОП-устройствам. NМОП-устройства, имеющие *n*-каналы (NМОППТ), обладают большой скоростью переключения, так как в них более подвижны электроны. Это, как правило, не имеет в технологии сенсоров большого значения, но значимо для высокочастотных электронных устройств. NМОП-транзисторы более предпочтительны для больших интегральных схем (very large scale integrated circuit devices, VLSI), так позволяет увеличить плотность монтажа. Конструкция *n*-канального NМОП-транзистора ниже приведена [53].

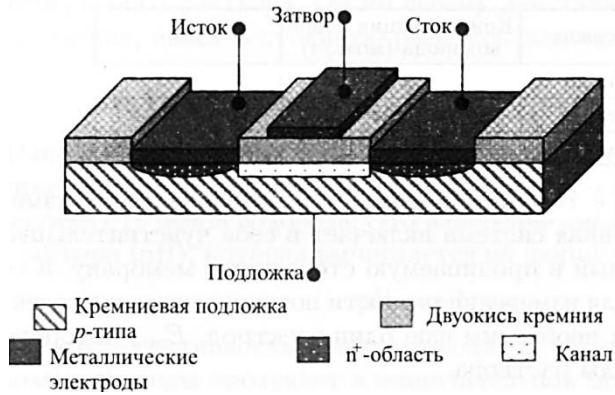


Рис. 2.13. *n*-канальный МОП-транзистор

- Подложка *p*-типа является слабо легированной и имеет большое сопротивление.
- У электронно-дырочного *n-p*-перехода исток–подложка сопротивление порядка  $10^{10}$  Ом, в отсутствии прямого смещения.
- Контакты истока и подложки, изображенные на рис. 2.13, обычно замкнуты.

Если к затвору приложен положительный потенциал по отношению к подложке, то электроны притягиваются к поверхности подложки *p*-типа, и образуется канал с низким сопротивлением около 1 кОм. Следовательно, потенциал затвора управляет током между истоком и стоком. Сопротивление между затвором и подложкой весьма значительно, так что ток через затвор очень мал. Величина тока «сток – исток»  $I_{DS}$  определяется по формуле

$$I_{DS} = \frac{\mu_m C_0 w U_{DS}}{L} \left( U_{GSu} - U_t^+ - \frac{1}{2} U_{DS} \right),$$

где  $U_{GSu}$  – разность потенциала между затвором и подложкой;  $U_t^+$  – пороговое значение потенциала ПТ;  $\mu_m$  – эффективная подвижность электронов;  $C_0$  – ёмкость структуры затвора на единицу площади;  $w$  – ширина затвора;  $L$  – длина затвора и  $U_{DS}$  – разность потенциала, приложенная между источником и стоком. На рис. 2.14 показано, как на основе НМОПТ изготовлен ПТ [53].

Положительные ионы (катионы) абсорбируются из раствора на пористой мембране, которая служит затвором. Это создает отрицательно заряженный поверхностный слой в кремнии *p*-типа, образуя проводящий канал между истоком и стоком.

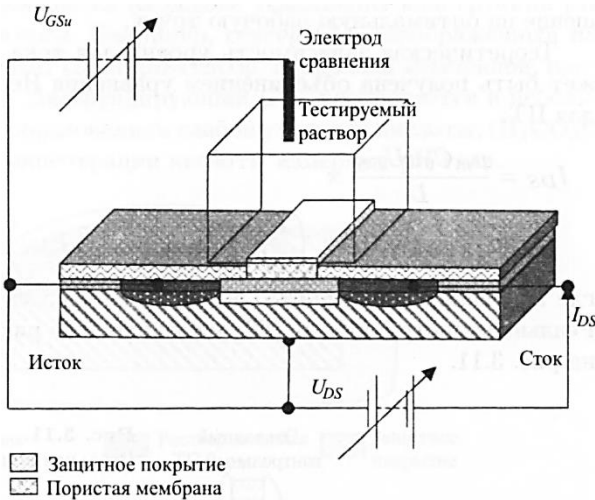


Рис. 2.14. Конструкция химически чувствительного ПТ

Как и в случае ПТ, подложка и исток химически чувствительного ПТ (ХЧПТ) имеют одинаковый потенциал, так что *n-p*-переход не имеет смещения. Структура ПТ может иметь подложку *p*- или *n*-типа, и в зависимости от типа иона, катиона (+) или аниона (-), ток  $I_{DS}$  либо возрастает, либо убывает с ростом концентрации ионов.

Изначально предполагалось, что ХЧПТ можно изготовить, просто исключив металлический электрод затвора. При этом непроводящий слой  $\text{SiO}_2$  поглощал бы ионы водорода, что привело бы к изменению смещения на затворе ПТ и таким образом позволило бы получить рН-чувствительное устройство. Однако при использовании только одного  $\text{SiO}_2$  измеренная чувствительность составляет лишь 30 мВ/рН, что является недостаточным. В результате обычно дополнительно применяется слой нитрида кремния  $\text{Si}_3\text{N}_4$  поверх  $\text{SiO}_2$  в качестве абсорбирующей мембраны. Это даёт повышение чувствительности до 50 мВ/рН и линейную зависимость от 1,8 до 10 рН. Чувствительность может изменяться в зависимости от толщины и

производственного процесса. В качестве активных поверхностных мембран были испытаны и другие окислы, в основном более экзотичных металлов. Некоторые из них показали чувствительность выше 50 мВ/рН. Оксид алюминия  $Al_2O_3$  также был испытан, но показал результат ниже, чем кремнийсодержащие соединения [53, 54].

Для повышения селективности ХЧПТ (относительно определенного вида ионов) используются разные способы, модификация в первую очередь. Так, достаточно селективный отклик на ионы водорода  $H^+$  получают при замене тонкого слоя оксида над инверсионной областью МОП-транзистора на тонкий слой нитрида кремния  $Si_3N_4$ . Этот транзистор называется рН-селективным.  $Na^+$ -селективный ПТ образуют нанесением боросиликатного стекла нужного состава на тонкий слой подзатворного диэлектрика. Если нанести полимерную пленку с примесью валиномицина или краун-эфира на тонкий слой диэлектрика, то полевой транзистор становится  $K^+$ -селективным. При модификации полимерной пленки *n*-(1,1,3,3-тетраметил-бутил)-фенилфосфорной кислотой, то ПТ делается  $Ca^{2+}$ -селективным. Видоизмененные таким образом полевые транзисторы называются ионоселективными (ИСПТ) [45].

Теоретическую зависимость уровня для тока «сток – исток» можно получить объединением уравнения Нернста и уравнения для ПТ:

$$I_{DS} = \frac{\mu_m C_0 w U_{DS}}{L} \left( U_{GSu} - U_i^+ \pm \left( \frac{RT}{zF} \ln(a_x + ka_y) - E_{et} \right) - \frac{1}{2} U_{DS} \right),$$

где  $E_{et}$  является разностью потенциалов на электродах сравнения. Реальная конструкция ИСПТ изображена на рис. 2.15. [53].

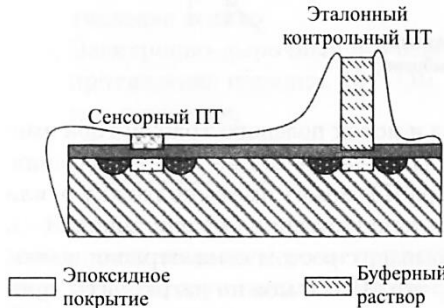


Рис. 2.15. Реальная конструкция ИСПТ



Нанесение различных электрохимически активных материалов на нитрид кремния позволяет обнаруживать другие ионы. Так, алюмосиликат натрия можно применить для обнаружения ионов  $\text{Na}^+$ .

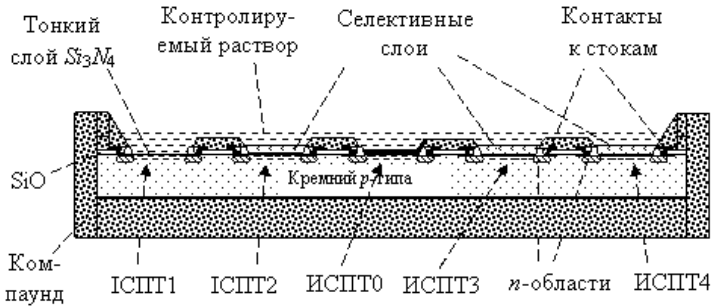
Перед контролем сверху на чувствительную мембрану наносят большое количество контролируемого раствора так, чтобы он покрывал часть нанесенного поверх компаунда электрода сравнения. В другом варианте ХЧПТ погружают в контролируемый раствор.

При контроле между электродом сравнения и основой из кремния *p*-типа подают такое постоянное напряжение смещения, чтобы при отсутствии в исследуемом растворе аналита в приповерхностном слое кремния между истоком и стоком индуцировался канал *n*-типа. Между истоком и стоком подают малое напряжение и измеряют электрический ток, протекающий через ПТ. Этот ток определяется потенциалом на затворе транзистора. В этом случае роль затвора выполняет химически чувствительная мембрана. Как только в анализируемом растворе появится аналит или возрастет его концентрация, то происходит изменение перепада потенциала на электроде сравнения и потенциал чувствительной мембраны. Это вызывает соответствующее изменение электрического тока через ПТ, которое легко измерить [45].

Достоинствами ХЧПТ в качестве электрохимического сенсора являются малые габариты и энергопотребление, высокая чувствительность, возможность создания на том же кристалле кремния в едином технологическом процессе всех электронных схем, требующихся для обработки поступающих сигналов, для снижения влияния шумов и помех, для термокомпенсации. Кроме того, также и относительно небольшая стоимость, и малый потребный объем пробы [45].

Изготовлен миниатюрный массив потенциометрических сенсоров для одновременного контроля концентрации четырёх ионов. Этот массив сенсоров содержит 5 ИСПТ, созданных на одном кристалле кремния (рис. 2.16). Один из них рН-селективный, второй –  $\text{Na}^+$ -селективный, третий –  $\text{K}^+$ -селективный, четвертый –  $\text{Ca}^{2+}$ -селективный. Пятый используется как опорный полевой транзистор, затвор которого является электродом сравнения. На этом же кристалле кремния созданы также все требующиеся электронные схемы обработки и усиления сигналов измерений. Весь

кристалл и внешние выводы, исключая зоны контакта с исследуемым раствором, защищены изолирующим компаундом. Во время измерений кристалл на некоторое время погружают в контролируемый раствор или наносят на него раствор сверху [45].



**Рис. 2.16.** Массив ИСПТ: ИСПТ0 – опорный полевой транзистор; ИСПТ1 – рН-чувствительный полевой транзистор; ИСПТ2 –  $Na^+$ -селективный полевой транзистор; ИСПТ3 –  $K^+$ -селективный полевой транзистор; ИСПТ4 –  $Ca^{2+}$ -селективный полевой транзистор

Одним из перспективных подходов к изготовлению различных ХЧПТ представляется получение чувствительных мембран с биомодифицированным слоем. Первый метод – микробиологический, заключающийся в высевании специфичной микробиологической флоры на поверхность подзатворного диэлектрика. Второй метод – ферментный, он состоит в образовании селективной мембраны, которая содержит иммобилизованный фермент.

При биологическом подходе на чувствительной поверхности ХЧПТ способами биоинженерии и микробиологии высаживают живую клетку, избирательно реагирующую на внешнее влияние. В результате естественной реакции высаженной клетки на это воздействия изменяется электрический ток через ХЧПТ. Это может протекать непосредственно, если реакция высаженной клетки заключается в изменении ее собственного электрического потенциала, а следовательно, и потенциала затвора ХЧПТ, или опосредованно, при реакции клетки на внешнее влияние рядом биохимических реакций, с электрохимически активными продуктами. Вследствие этого возможно получение очень чувствительного биоэлектронного сенсора.

Учитывая очень малые размеры как ХЧПТ, так и осаждаемых на них клеток-рецепторов, на одном кристалле кремния можно создать довольно большой массив чувствительных к разным анализатам сенсоров [45].

Модифицировав датчик биочувствительным материалом, его можно использовать для косвенного анализа биоактивных примесей в растворе. В этом случае биочувствительный слой выполняет роль промежуточного преобразователя: биохимическая реакция приводит к изменению концентрации протонов вблизи поверхности диэлектрика, которое непосредственно регистрируется сенсором [55].

Использование в качестве биочувствительного материала ряда ферментов (уреазы, бутирилхолинэстеразы, глюкозооксидазы и др.) позволяет детектировать наличие в растворе ионов тяжелых металлов, являющихся ингибиторами ферментной активности (в частности, ионов серебра, ртути, меди и кадмия). Модификация датчика осуществляется нанесением на поверхность диэлектрика фермента, растворенного в фосфатно-глицериновом буфере, с последующим выдерживанием в парах либо в водном растворе глутарового альдегида [56]. После высушивания на поверхности образуется проницаемая для раствора мембрана, содержащая иммобилизованный фермент.

Анализ растворов с помощью модифицированного таким образом датчика осуществляется в два этапа. Вначале датчик помещается в чистый, заведомо не содержащий токсичной примеси раствор. После добавления специфичного для данного фермента субстрата в растворе начинается катализируемая ферментом биохимическая реакция. Пара «субстрат – фермент» специально подбирается так, чтобы реакция протекала с выделением либо поглощением протонов. В результате датчик будет регистрировать протонный отклик, величина которого соответствует исходной активности фермента. Далее та же процедура повторяется для анализируемого раствора с неизвестным составом. Если раствор содержит токсичную примесь, ингибирующую активность фермента, величина отклика окажется меньше полученной в исходном, чистом растворе. Разница в величине откликов при этом пропорциональна концентрации ингибитора. Поскольку различные ферменты обладают выраженной селективностью к различным ингибиторам, таким способом можно проводить качественный анализ, а при наличии калибровочных данных – и количественный анализ примесей в растворе неизвестного состава [55].

## 2.4.1.3. Вольтамперометрические сенсоры

Массив сенсоров в одном из прототипов вольтамперометрической МС имеет следующий вид (рис. 2.17): имеются четыре рабочих электрода (золотой, иридиевый, платиновый и родиевый). Материалы рабочих электродов должны быть подобраны так, чтобы оптимизировать различные каталитические свойства. Кроме того, электроды должны обладать долговременной стабильностью. Поэтому используются благородные и каталитические металлы. Допускается замена иридиевого электрода на электрод из нержавеющей стали. Из-за различных каталитических свойств каждого металла каждый рабочий электрод будет формировать уникальный образ отклика [57].

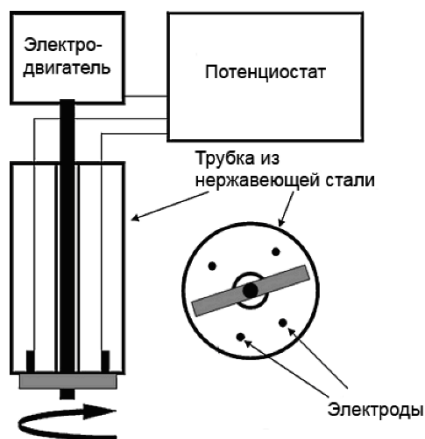


Рис. 2.17. Схематическая иллюстрация вольтамперометрической МС ЭЯ

Рабочие электроды (диаметр 1 мм) были помещены в нержавеющую стальную трубку (длина 100 мм, диаметр 40 мм). Трубку служила противозлектродом.

*I. Campos et al.* помещали в массив сенсоров восемь рабочих электродов (Au, Pt, Ir, Rh, Ag, Cu, Ni, Co). Неблагородные металлы были включены в МСС ЭЯ для того, чтобы обеспечить более разнообразное электрохимическое поведение. Созданный прототип МСС ЭЯ применялся для определения химического потребления кислорода (ХПК), биохимического потребления кислорода (БПК), щелочности среды, ионов аммония, ортофосфатов, сульфатов и уксусной кислоты [58].

Работа К. Twomey *et al.* [59] была посвящена миниатюризации вольтамперометрических массивов сенсоров. Были созданы массивы сенсоров на кремниевых подложках, которые состояли из четырёх рабочих электродов и одного противозэлектрода (рис. 2.18). Чтобы уменьшить число технологических операций, слой золота был использован также в качестве контактных площадок для других электродов. Далее осаждались слои платины Pt, иридия Ir и родия Rh (рис. 2.19).

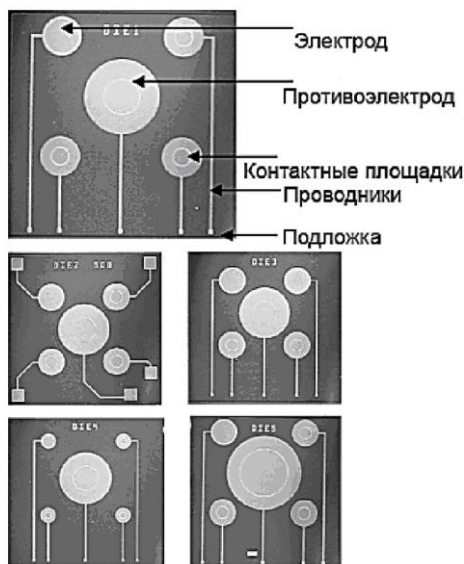


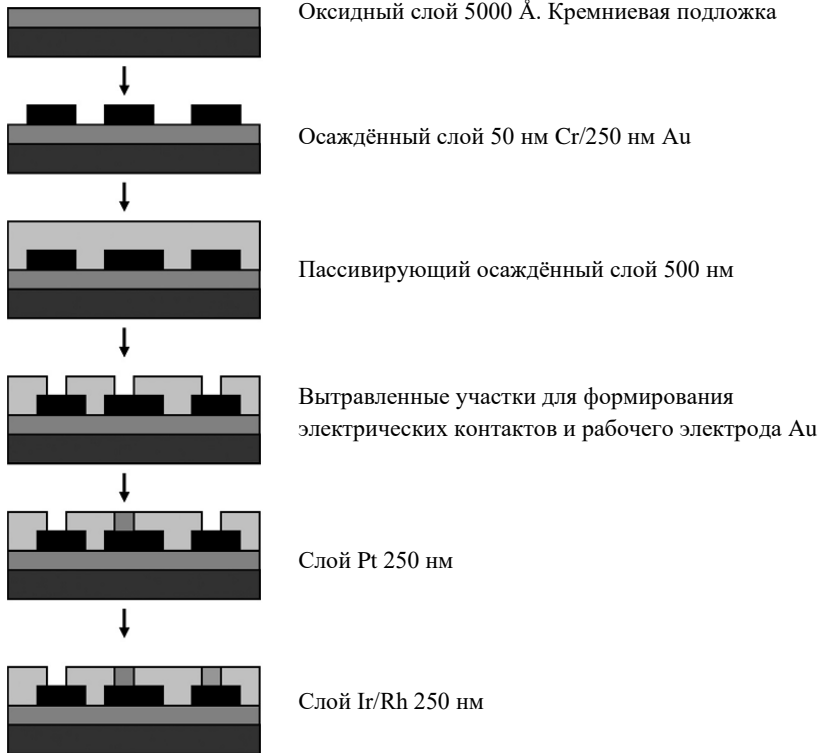
Рис. 2.18. Фотографии различных созданных массивов сенсоров на кремниевых подложках

#### 2.4.1.4. Импедансные сенсоры

Подобно ХЧПТ, импедансные сенсоры также могут быть изготовлены на монокристаллической подложке в едином технологическом процессе.

A. Riuл Jr., D.S. dos Santos Jr. *et al.* в [60] предложили следующий подход. Каждый сенсорный элемент изготавливался осаждением плёнки на встречно-штыревую структуру, содержащую 50 полосок. Ширина каждой полоски равна 10 мкм, высота – 0,1 мкм. Расстояние между соседними полосками составляет 10 мкм. Встречно-штыревые электроды изготавливались напылением золота на стеклянную подложку с использованием

методов фотолитографии. Были синтезированы проводящие полимеры: олигомер (16-мер) анилина и полипиррол (PPy), комплекс *mer*-[RuCl<sub>3</sub>(dppb) (4-Меру)] (сокращённо Ru–Pis), сульфированный полиазобензол (SAP).



**Рис. 2.19.** Схема технологического маршрута изготовления массива вольтамперометрических сенсоров на кремниевых подложках

16-мер анилина, PPy и Ru–Pis были получены методом Ленгмюра – Блоджетт. Олигоанилин и полипиррол были обработаны в растворе *m*-крезола, камфорной сульфокислоты и хлороформа под воздействием ультразвука в течение 1,5 ч при комнатной температуре. Ru–Pis был растворён в хлороформе. Плёнки Ленгмюра – Блоджетт состояли из пяти слоёв, перенесённых на встречно-штыревые электроды. Многослойные плёнки полианионного SAP, чередовавшиеся с поликатионным поли(аллиламингидрохлоридом) (PAH), были получены методом самосборки [60].

Очевидно, что для массива импедансных сенсоров электрод сравнения не требуется. Целью *A. Riul Jr., D.S. dos Santos Jr. et al.* [60] было создание МС ЭЯ, позволяющей определять вкус того или иного вещества. Одной из причин применения импедансных сенсоров был тот факт, что этот тип сенсоров с более высокой эффективностью, чем потенциометрические сенсоры, позволяет детектировать неполярные соединения, такие как сахароза и хинин. Исследователями был рассмотрен отклик сенсоров на 0,005 М NaCl (образец солёного вкуса), 0,005 М сахарозы (образец сладкого вкуса), 0,0001 М хинина (образец горького вкуса) и 0,005 М HCl (образец кислого вкуса). Таким образом, представляется интересным создание МСС на основе подобных сенсоров для мониторинга концентраций как ионов тяжёлых металлов, так и органических загрязнителей.

### **2.4.2. Блок сбора данных**

#### *2.4.2.1. Архитектура измерительной системы*

Для построения функционально завершенной информационно-измерительной системы (ИИС), помимо первичных преобразователей необходимыми элементами являются устройства вторичного измерительного преобразования (ВИП) и дискретизации измерительной информации, а также комплекс программно-аппаратных средств для регистрации, хранения и обработки полученных данных. Кроме того, поскольку синхронная регистрация данных, полученных с нескольких перекрёстно-чувствительных датчиков, позволяет решать ряд аналитических задач, неразрешимых с помощью одноканальных преобразователей, структура ИИС должна предусматривать возможность объединения нескольких первичных преобразователей в единую многоканальную систему [55].

Промежуточным звеном МС является модуль регистрации и управления, обеспечивающий сопряжение вторичного измерительного преобразователя с ЭВМ, регистрацию измерительной информации и управление процессом измерений (автоматическое либо с участием оператора). Кроме того, специфика области применения требует обеспечения возможности многоканальных измерений, т.е. одновременной регистрации сигналов нескольких измерительных преобразователей. Подход к построению многоканальной системы может быть различным. Традиционным является

использование интегрированного многоканального модуля сопряжения с мультиплексированием каналов [61]. Преимуществами такого решения являются относительная дешевизна и компактность.

Подходом, более соответствующим общему принципу модульности системы, является использование отдельного блока ВИП для каждой сенсорной ячейки с возможностью объединения отдельных блоков в многоканальную систему. Наиболее простым и доступным методом сопряжения модулей вторичного преобразования между собой и с управляющей ЭВМ является последовательный интерфейс, имеющий известные преимущества перед параллельным – повышенную надежность за счет уменьшения количества соединений, дешевизну, возможность объединения устройств в сети различных конфигураций, возможность разнесения сопряженных устройств на относительно большие расстояния (если физический уровень интерфейса обеспечивает соответствующие электрические параметры). Как известно, в настоящее время последовательные цифровые интерфейсы повсеместно вытесняют параллельные как в промышленной, так и в бытовой аппаратуре [55].

Имеется широкий спектр стандартных последовательных цифровых интерфейсов и последовательных шин, на базе которых можно организовать соединение рассматриваемых измерительных устройств.

Например, *Павлюченко А. С. и др.* для построения макета ИИС использовали интерфейс RS-232 (СОМ-порт) [62].

Хотя обеспечиваемая интерфейсом скорость передачи данных относительно невысока (до 100 кбит/с), для рассматриваемого применения она является достаточной, поскольку измерения являются по существу квазистатическими, а количество измерительных каналов на практике не превышает десяти.

Для объединения отдельных преобразователей в измерительную сеть используется кольцевая шинная архитектура (рис. 2.20). В такой архитектуре каждый блок ВИП содержит собственную аналоговую (собственно преобразователь) и цифровую (АЦП с микропроцессором) части, и отдельные последовательный вход и выход. Все блоки многоканальной системы объединяются в кольцо, при этом выход предыдущего модуля соединяется со входом последующего. Вход первого модуля соединяется с выходом последовательного порта ЭВМ, а выход последнего модуля – со



входом последовательного порта ЭВМ. Пакеты команд и данных, поступаая из ЭВМ, последовательно обрабатываются каждым из процессоров, объединенных шиной. Все вопросы адресации и синхронизации работы блоков решаются на уровне логического протокола передачи команд и данных.

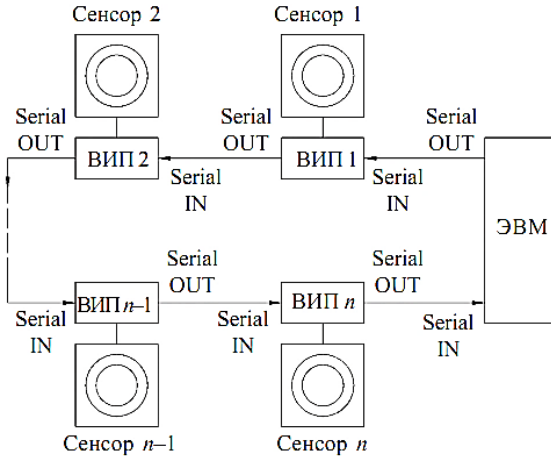
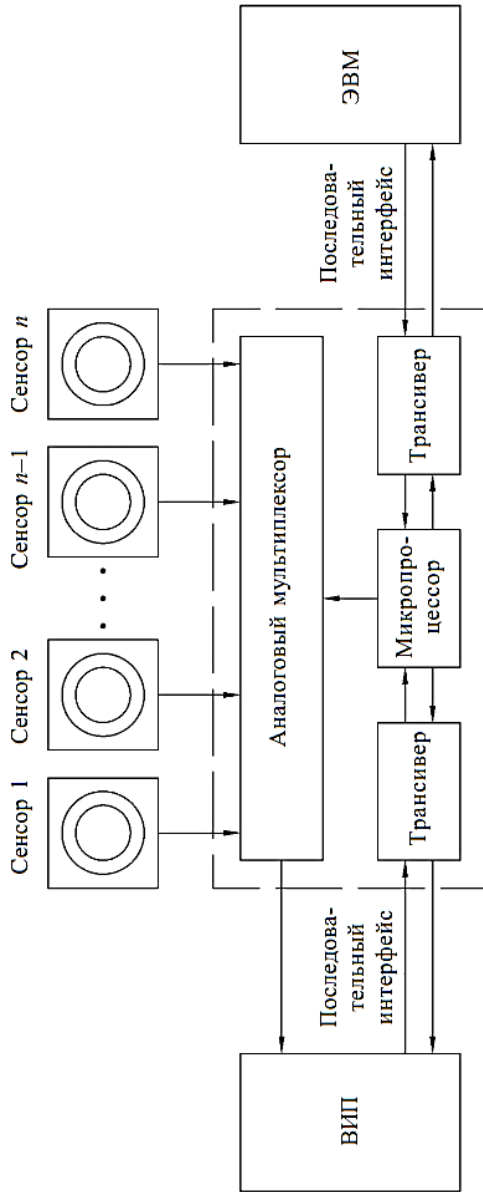


Рис. 2.20. Кольцевая шинная архитектура многоканальной измерительной системы

Недостатком рассмотренного решения, как и любой кольцевой архитектуры, является то, что выход из строя хотя бы одного устройства приводит к полной неработоспособности всей системы (здесь речь идет только о микропроцессоре либо приемопередающей части при выходе из строя собственно датчика работоспособность сети сохраняется, но при этом данные измерений, полученные с него, будут неверными) [55].

Необходимость наличия АЦП и микропроцессора в каждом модуле приводит к удорожанию многоканальной системы, но этот недостаток несущественен при серийном производстве в сравнении с преимуществами, которые дает унификация исполнения одноканальной и многоканальной систем. Кроме того, на базе разработанного модуля ВИП можно построить и более традиционный вариант с мультиплексированием измерительных каналов. Для этого требуется лишь сравнительно несложный адаптер, осуществляющий трансляцию команд шинного протокола и управление мультиплексором, поочередно подключающим к модулю ВИП один из нескольких сенсоров (рис. 2.21).



**Рис. 2.21.** Функциональная схема адаптера, симулирующего кольцевую шину в многоканальной системе с мультиплексированием каналов

При этом не требуется вносить никаких изменений ни в программное обеспечение управляющей ЭВМ, ни в микропрограммное обеспечение модуля ВИП. Аналогичным образом с помощью адаптера можно подключить сеть ВИП к аппаратному интерфейсу, отличному от RS-232 (например, к последовательной шине USB), без внесения каких-либо изменений или дополнений в разработанный протокол обмена командами и данными на логическом уровне [55].

#### 2.4.2.2. Платы сбора информации для ЭВМ

В настоящее время на рынке представлено большое количество плат сбора данных, и необходимо определить характеристики, по которым осуществляется выбор. Цена таких устройств может варьироваться в широких пределах. Такая разница в цене обусловлена разницей в скорости, разрешении и сложности сбора данных. Простая плата обычно использует 12-разрядный АЦП, с временем преобразования 1 мс, без возможности обработки измеряемой информации, кроме как передачи в компьютер. В то же время плата известного производителя высшей ценовой категории будет иметь собственную память и средства обработки измеряемой информации. Кроме того, обработанная информация записывается непосредственно на жесткий диск. И все же характеристика, в наибольшей степени влияющая на цену устройства, – это скорость съема информации [53, 63].

Высокоскоростная плата может включать в себя 16-разрядный АЦП со временем преобразования менее 10 мкс. Такие АЦП сами по себе стоят более 100 фунтов [53]. На плате может использоваться по одному АЦП на канал, поскольку мультиплексирование входных каналов через один АЦП снижает частоту дискретизации.

По этой причине высокоскоростные платы обычно имеют мало каналов. При ознакомлении с техническими характеристиками плат сбора данных важно различать частоту преобразования АЦП и реальную частоту считывания информации с входного канала. Очевидно, что плата с одним АЦП и 16-входными каналами будет работать в 16 раз медленнее, чем сам АЦП. Некоторые платы сбора позволяют отключать мультиплексирование, так что один входной канал будет работать на полной скорости АЦП.

Для того чтобы понять, как микропроцессор ПК взаимодействует с платами сбора информации, потребуются небольшие знания архитектуры микропроцессорных систем и механизма ввода/вывода данных. Микропроцессор использует две области памяти, одну для хранения программы, а другую для обрабатываемых данных. В момент включения компьютера программа загружается в память микропроцессора из энергонезависимой памяти (сохраняющей информацию при выключении электропитания) – такой же, как жесткий диск. Электронная память размещена как в самом микропроцессоре, так и во внешних чипах памяти. Эта память используется вследствие того, что она обладает лучшими показателями по скорости доступа, нежели память, используемая для длительного хранения информации. Для доступа к различным участкам памяти в микропроцессоре существует система адресации. Адреса участков памяти задаются на этапе проектирования микропроцессора и его периферии. Эта система называется картой памяти. В памяти существуют несколько адресов, которые на самом деле являются портами ввода/вывода. Во время работы программы, в момент чтения или записи данных по этим адресам, происходит обмен информацией между микропроцессором и внешними устройствами [53].

### **2.4.3. Блок обработки данных**

Используются различные подходы, в том числе методы распознавания образов и многомерной калибровки [49].

Выбор конкретного метода обработки данных зависит как от аналитической задачи, так и от параметров чувствительности сенсоров, т.е. от нелинейности отклика, степени коррелированности откликов разных сенсоров массива и т.д. Имеется три основные задачи обработки данных: изучение структуры данных и распознавание; классификация и идентификация; количественный анализ (определение концентраций веществ или других количественных параметров) [50].

Распознавание и изучение структуры данных всегда является первым этапом обработки и дает возможность первоначальной оценки воспроизводимости и детектирования выбросов, визуального изучения структуры данных, обнаружения в них кластеров и т.д. Для этих целей используют методы неуправляемого обучения, такие как анализ по главным компонентам и некоторые типы искусственных нейронных сетей (ИНС) [49].

### 2.4.3.1. Статистические методы

*L. Sipos et al.* разработали метод определения минеральных вод посредством МСС ЭЯ. Результаты исследований, представленные в [64], могут быть полезны и для проектирования мультисенсорной мониторинговой системы. Для обработки данных применялись два метода неконтролируемого обучения (обучение без учителя, *unsupervised learning*): метод главных компонент (МГК) и иерархический кластерный анализ (ИКА), а также один метод контролируемого обучения (обучение с учителем, *supervised learning*) – линейный дискриминантный анализ (ЛДА) [65–67].

МГК обычно является первым шагом в анализе данных. Уменьшение размерности данных позволяет обнаружить образы откликов и визуализировать их. Каждая главная компонента некоррелирована (ортогональна). Первая главная компонента (PC1) отвечает за максимум общей дисперсии, а вторая (PC2) – некоррелирована с первой и отвечает за максимум остаточной дисперсии.

*F. Winquist et al.* использовали МГК для обработки измерительной информации своей МСС [57]. Для доказательства аналитической способности выбранного метода ими были выбраны следующие компоненты (табл. 2.3): аскорбиновая кислота, хлорид натрия NaCl (коррелирует с электропроводностью и загрязнением морской воды), гипохлорит натрия NaClO (коррелирует со свободным хлором; обычно добавляется в водопроводную воду для её дезинфекции), нитрид натрия NaN<sub>3</sub> (яд, сходный по физиологическому действию с цианидами), гидросульфит натрия NaHSO<sub>3</sub> (обычный компонент сточных вод ТЭС), а также дрожжи (имитируют микробиологическое загрязнение). NaN<sub>3</sub> был выбран потому, что он является сильным ядом. Аскорбиновая кислота была выбрана только из-за явно выраженных окислительно-восстановительных свойств. Для NaClO и NaHSO<sub>3</sub> концентрации были выбраны стандартные для водоочистных сооружений и ТЭС.

На рис. 2.22 показан МГК-график для всех рассматриваемых компонентов. Они все чётко разделяются со степенью интерпретации в первой главной компоненте PC1 90 %, второй PC2 – 5,4 % и третьей PC3 – 2,3 %. Хотя обычно трудно дать экспериментальное толкование для главных компонентов, но некоторые интересные замечания могут быть сделаны из

этого графика. МСС ЭЯ может быть использован также для определения рН, z-потенциала и ХПК [68].

Таблица 2.3

**Тестиrowавшиеся концентрации различных загрязнителей в работе [57]**

Компонент	Условное обозначение	Концентрация, моль/л				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
NaClO	A	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
NaN <sub>3</sub>	B	0,05	0,1	0,2		
Аскорбиновая кислота	C	0,1	0,2	0,3		
NaCl	D	0,6				
NaHSO <sub>3</sub>	E	0,6				
Дрожжи	Y	0,1 (г/л)	0,2 (г/л)	0,3 (г/л)		

Если вообразаемую линию (см. рис. 2.22) провести из нулевой точки (где все концентрации равны нулю) в точку 0,6D ([NaCl] = = 0,6 ммоль/л), то эта линия покажет изменение в проводимости. Линии, проведённые перпендикулярно к этой линии, покажут противоположные окислительно-восстановительные свойства (положительный и отрицательный потенциалы) с разных сторон. Поэтому, к примеру, NaClO (A) имеет противоположный окислительно-восстановительный потенциал в сравнении, например, с NaHSO<sub>3</sub> (E) и аскорбиновой кислотой (C) [57].

Отмеченная квадратом область (см. рис. 2.22) вокруг нулевой концентрации, увеличенная на рис. 2.23, демонстрирует разделение образцов дрожжей (Y) [57].

Другой метод неконтролируемого обучения для предварительной оценки – ИКА, который используется для идентификации выбросов. Образцы данных группируются на основании расстояний без учёта информации о принадлежности к тому или иному классу. ИКА вычисляет расстояние между всеми образцами, используя определённые метрики, такие как евклидово расстояние, L<sub>1</sub>-расстояние и др. Группирование образцов может быть выполнено различными алгоритмами кластеризации, зависящими от критериев определения расстояния между двумя группами (правило связи): одиночные (ближайший сосед), верхние (самый удалённый сосед) или средние связи, центроидный метод, метод Уорда и т.д.

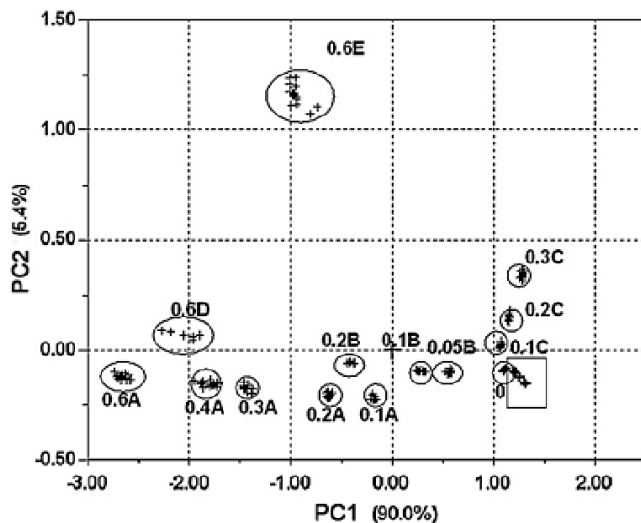


Рис. 2.22. МГК-график рассматриваемых загрязнителей в различных концентрациях (см. табл. 1.1)

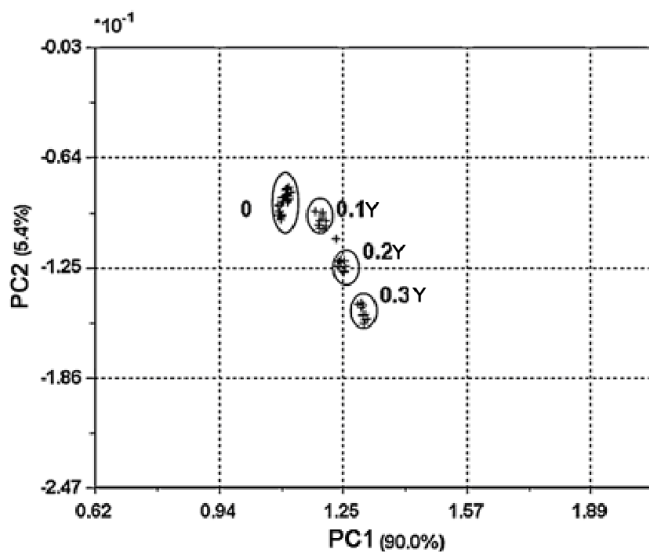


Рис. 2.23. Увеличение отмеченной квадратом области на МГК-графике, представленном на рис. 2.22

ЛДА – один из наиболее популярных методов распознавания образов, основанный на принципе обучения с учителем. Он базируется на определении линейных дискриминантных функций. ЛДА максимизирует отношение межклассовой дисперсии и минимизирует отношение внутриклассовой дисперсии. ЛДА использует априорные знания группового членства для каждого образца. На первом шаге самые сильно отличающиеся значения выбираются для классификации предварительно определённых классов.

#### 2.4.3.2. Нестатистические методы

Большой интерес представляют нестатистические методы обработки измерительных данных для количественного распознавания химического состава сложных многокомпонентных водных сред. В работе *A. Mimendia et al* [69] с этой целью использованы искусственные нейронные сети (ИНС). Имелся 81 образец данных. Это множество образцов было разделено на два подмножества: 50 образцов в обучающем подмножестве, служащих для образования модели откликов, и 31 – для оценки предсказательной способности модели. Образцы выбирались случайным образом.

С целью получения на выходе желаемых значений каждая ИНС должна быть оптимизирована. Необходимо настроить некоторые параметры, которые определяют самую с подходящим поведением. В блоке обработки данных МСС [69] использовалась ИНС с обратным распространением ошибки (BProp-ANN, back propagation ANN) с многоканальным выходом, единственным скрытым слоем, нормализацией входных данных, байесовской регуляризацией в качестве обучающего алгоритма, скоростью обучения  $\alpha = 0,1$  и моментом  $\beta = 0,4$ . Отдельно другие элементы конфигурации были оптимизированы, чтобы получить некоторую уверенность в окончательных результатах. Параметры, такие как число нейронов в скрытом слое, передаточные функции в скрытом и выходном слоях (линейные или нелинейные), использованные для каждого сенсорного канала, систематически варьировались, чтобы получить наилучшее поведение системы.

Окончательная реализация ИНС по методу [69] имела 8 нейронов в скрытом слое, гиперболические тангенциальный сигмоид и линейную функцию в качестве функций активации в скрытом и выходном слоях соответственно.



Элементами такой ИНС с обратным распространением ошибки являются нейроны, которые в зависимости от суммарного воздействия входных сигналов могут возбуждаться или тормозиться. В результате этого процесса формируется конкретный выходной сигнал. Каждый сигнал, поступающий по дендритам нервной клетки, характеризуется возбуждающей или тормозящей способностью, т.е. обладает некоторым отрицательным или положительным весом. При достижении нейроном определенного порогового значения уровня возбуждения происходит его активизация, и по аксону передается сигнал другим элементам сети, которые образуют взаимосвязанный последовательный ряд слоев.

Далее создается база данных, в которую заносится информация о химической природе вещества и концентрации. На основе полученной информации формируется входной сигнал для слоя основных нейронов.

В качестве входных данных нейросети выступает массив значений электрических сигналов, полученных от массива сенсоров, а также момент времени, в который были получены эти сигналы.

Таким образом, для анализа газовой среды на вход ИНС подается матрица значений сигналов системы:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} t_1 & x_{1,1} & x_{1,j} & x_{1,m} \\ t_i & x_{i,1} & x_{i,j} & x_{i,m} \\ t_n & x_{n,1} & x_{n,j} & x_{n,m} \end{bmatrix}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

где  $\bar{X}$  – матрица характеристик значений сигналов сенсоров, полученная в результате проведения опыта;  $t_i$  – момент времени, в который произошло формирование очередного вектора сигналов,  $x_{i,j}$  – значение электрического сигнала  $j$ -го сенсора в  $i$ -й момент времени;  $n$  – количество сенсоров;  $m$  – продолжительность проведения опыта [70].

На входной слой ИНС подаются результаты обработки сенсорных данных  $\bar{X}_i$  нейронами слоя снижения размерности входного вектора. Слой снижения размерности сигнала, поступающего на вход ИНС, выполняет функцию синтеза единичного вектора на основе значений трех передаваемых параметров. Это позволяет использовать облегченную модель ИНС и, как следствие, уменьшить время обработки и получения конечной информации.

Затем происходит процесс преобразования и передачи информации между внутренними слоями сети. При этом сравниваются значения требуемого выходного и смоделированного сигнала системы, а также рассчитывается ошибка по формуле

$$e = \sum_{i=1}^n |y_i - D_i|^2.$$

Процесс исследования анализируемой среды завершается снятием сигнала  $y_i$  с выходного слоя системы.

А.В. Калач и др. предложили следующий алгоритм аналитического контроля токсических веществ с помощью МС (рис. 2.24) [70].

Для удобства и простоты восприятия результатов анализа было принято [70] решение о присвоении каждому экотоксиканту уникального кода, по которому при формировании итогового отчета можно было бы восстановить текстовое представление выходных данных.

В качестве нейронной сети использован многослойный персептрон, представленный на рис. 2.25. Во входном слое содержатся  $n$  нейронов, соответствующих количеству сенсоров с учетом момента времени снятия сигнала ( $n + 1$ ), в выходном слое – один нейрон, выход которого соответствует коду вещества-токсиканта.

Задача нахождения функциональной зависимости при ограниченном наборе входных данных имеет в общем случае бесконечное множество решений.

Для ограничения пространства поиска при обучении ставится задача минимизации целевой функции ошибки  $E(\omega)$  ИНС, которая находится по методу наименьших квадратов.

Суммирование ведется по всем нейронам выходного слоя и по всем обрабатываемым сетью образам. Обучение нейросети проводили методом градиентного спуска (рис. 2.26) [70].

На этапе второй сети поочередно в случайном порядке предъявляются векторы из обучающей последовательности.

По результатам тестирования системы установлено, что простейший метод градиентного спуска очень неэффективен в случае, когда производные по различным весам сильно отличаются. Этот случай соответствует ситуации, при которой значение функции  $S$  для некоторых нейронов близко по модулю к 1 или когда модуль некоторых весов много больше 1 [70].

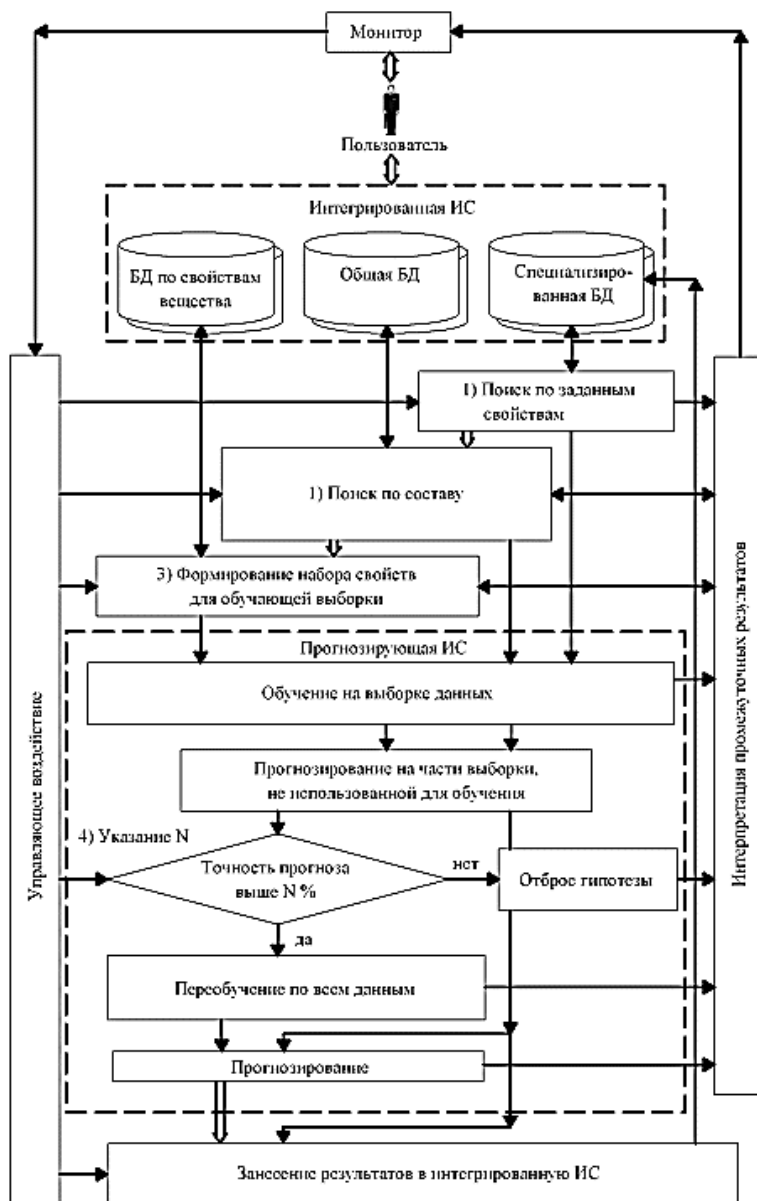
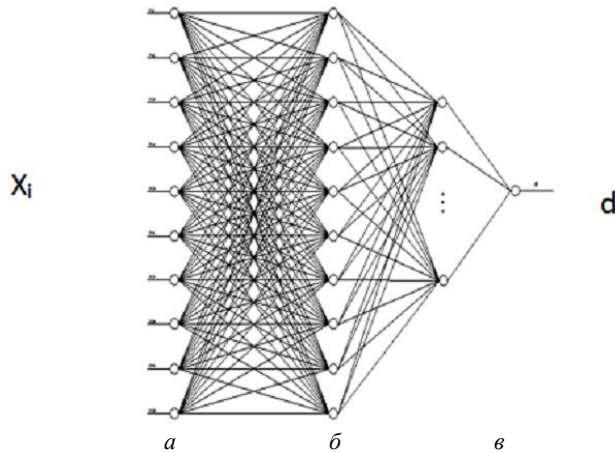


Рис. 2.24. Алгоритм аналитического контроля органических токсикантов [70]



**Рис. 2.25.** Архитектура нейронной сети:  $a$  – входной слой;  $b$  – скрытые слои;  $в$  – выходной слой;  $X_i$  – значения частотного сигнала  $j$ -го сенсора в  $i$ -й момент времени;  $d$  – выходной сигнал системы

В этом случае для плавного уменьшения ошибки надо выбирать очень маленькую скорость обучения, что неизменно приведет к значимому увеличению продолжительности обучения. Простейшим методом ликвидации данного недостатка является введение момента  $\mu$ , когда влияние градиента на изменение весов изменяется со временем.

#### **2.4.4. МС в информационной системе импактного мониторинга**

##### *2.4.4.1. Общие представления о региональных эколого-информационных системах*

Моделирование любой экосистемы, как правило, начинается с организации оперативного и непротиворечивого доступа к массивам первичных данных исследований экспедиций.

В полную компьютерную систему, предназначенную для поддержки аналитического функционирования всякого проекта (социального, экологического, финансового), должны входить следующие этапы анализа данных:

- «склеивание данных в кучи» (heaping);

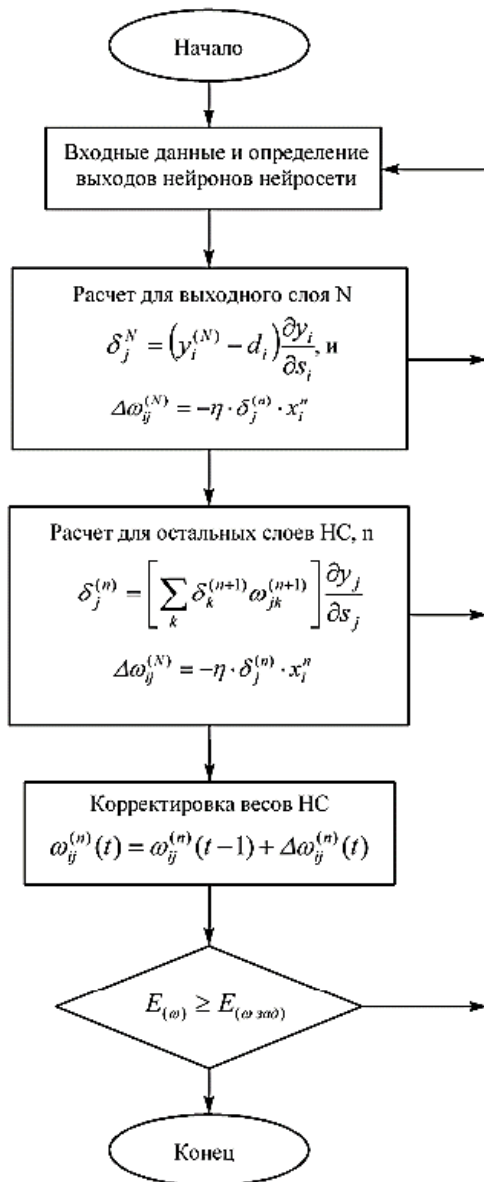


Рис. 2.26. Алгоритм обучения разработанной ИННС

- *складирование* сведений (data warehousing, DWH);
- *совмещение*, комбинирование данных (combining);
- *компьютерная томография* или визуальный многомерный анализ (visual multidimensional analysis);
- *разведывательный анализ* данных (data mining);
- *восстановление зависимостей* (forecasting) по эмпирическим выборкам;
- *принятие решений*, планирование и управление (deciding – computer aided engineering) [71].

Эколого-информационную систему (ЭИС) определяют как региональную автоматизированную экспертную систему по экологии и природоохранной деятельности, включающую всю совокупность сведений мониторинга и состоящую из таких компонентов, как:

1. система управления базами данных (СУБД), которая обеспечивает сохранение и оперативную выборку требуемой информации (стадии «склеивания, складирования и совмещения данных»);
2. геоинформационная система (ГИС), переделывающая информацию о территории как набор предметных слоев на электронной карте местности и производящей пространственную экстраполяцию расчетных показателей («компьютерная томография»);
3. пакет прикладных программ (ППП), содержащий библиотеку математических методов, которые синтезируют набор решающих правил (коллектив предикторов) для оценивания качества экологической системы и анализа причинно-следственных связей этого оценивания с факторами среды («разведывательный анализ и восстановление зависимостей»).

В соответствии с терминологией, принятой в теории информатики, база данных – это идентифицируемая совокупность взаимосвязанных сведений, предназначенных для многоцелевого применения [72]. Что касается региональных ЭИС, под базой данных понимается реализованная при помощи технических средств динамическая информационная модель территории, отражающая пространственно-временную структуру, состояние и взаимосвязи между отдельными элементами моделируемой экосистемы.

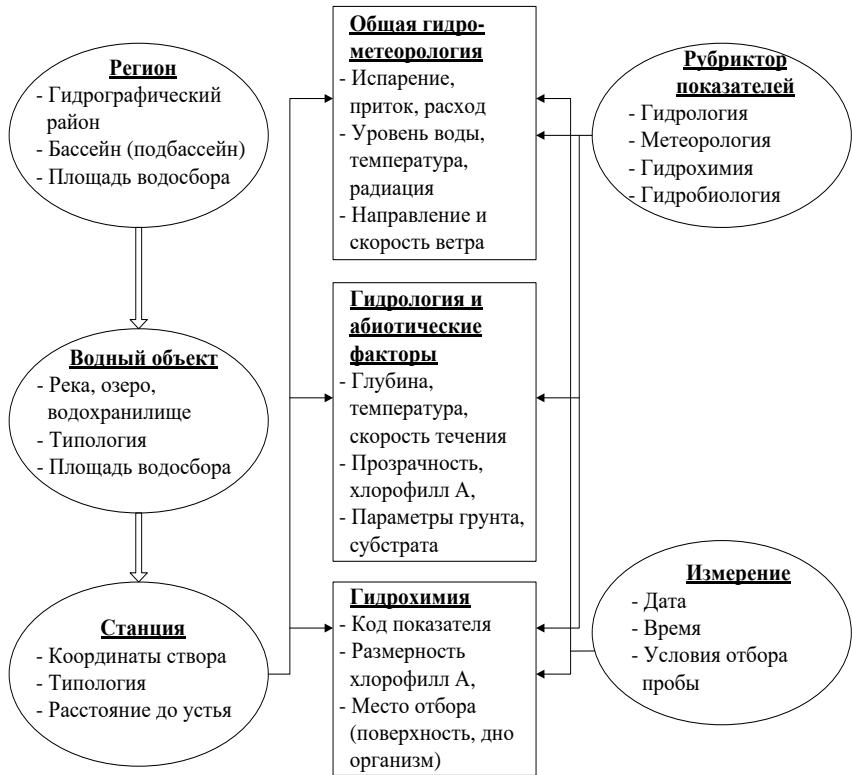
#### 2.4.4.2. Состав и структура гидроэкологической базы данных

Практически все современные СУБД базируются на реляционной (relational) модели управления базами данных, использующей следующую терминологию:

- *отношение* (relation) – информация об объектах одного типа, например, о биологических видах, точках взятия пробы или графиках экспедиций (в реляционных базах данных отношения обычно хранятся в виде таблиц);
- *атрибут* (attribute) – определенная часть информации о некотором объекте, например, даты экспедиций или численности гидробионтов (атрибут обычно хранится в виде столбца или поля таблицы);
- *связь* (relationship) – способ, которым информация в одной таблице связана с информацией в другой таблице (например, у точек отбора проб с конкретными измерениями тип связи «один-ко-многим», так как в одной точке можно сделать много проб, но любая проба соотносится только с одной точкой измерения);
- *объединение* (join) – процесс объединения таблиц на основе совпадающих значений специально выделенных ключей-идентификаторов (например, информация о гидробиологических пробах может быть объединена с гидрохимическими данными по порядковому номеру экспедиции и дате измерения).

Рассматриваемая база гидробиологических данных представляет собой совокупность реляционных таблиц в формате СУБД (MS Access), где каждое отдельно взятое наблюдение (гидрохимический показатель) информационно связано со спецификацией водоема, координатами и характеристиками точки отбора проб (*географический аспект*), а также датой проведения экспедиции (*временной аспект*) [73].

Обобщенная информационная модель базы данных, представленная на рис. 2.27, состоит из двух типов таблиц: таблиц-справочников условно-постоянного назначения, необходимых для точной рубрикации хранимых показателей (изображены овальными элементами), и информационных таблиц с первичными результатами наблюдений в период экспедиционных исследований (изображены прямоугольниками) [73].



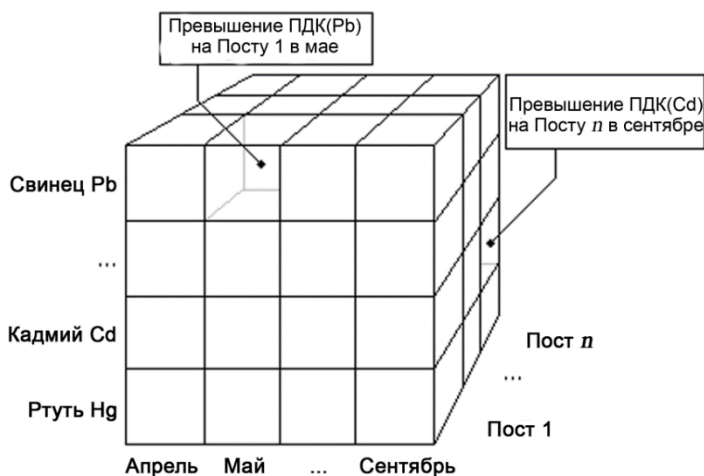
**Рис. 2.27.** Информационная модель специализированной базы гидроэкологических данных  
(по В. К. Шитикову, Г. С. Розенбергу, Т. Д. Зинченко, 2003, с изм.) [30]

### 2.4.4.3. Оперативная аналитическая обработка данных

Выборка показателей базы данных, предназначенная для математической или аналитической обработки, почти всегда представляет собой прямоугольную таблицу. Если значения измеряемых переменных располагать в столбцах, то число таких столбцов может достигать нескольких сотен – по числу переменных. Каждая строка в такой матрице будет содержать измеренные значения упомянутых переменных в одной пробе, отобранной в определенный момент времени в определенном месте. Понятно, что число таких строк может также измеряться сотнями.



Как было отмечено выше, созданию баз данных сопутствует разработка приложений и технологий, которые, в извечной борьбе математиков с так называемым «проклятием размерности», обеспечивают возможность манипулирования и анализа многомерной информации, т.е. то, что объединяется в настоящее время термином «Оперативная аналитическая обработка данных» (OnLine Analytical Processing, OLAP-технология). Анализируемая информация представляется в виде многомерных гиперкубов, где измерениями служат показатели исследуемого объекта, а в ячейках содержатся агрегированные данные (рис. 2.28).



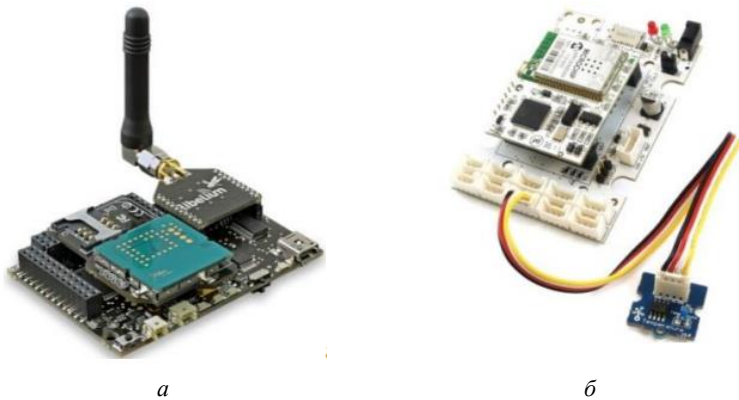
**Рис. 2.28.** Представление данных о превышении ПДК по тяжёлым металлам в OLAP-кубе на стационарных постах наблюдений с разбивкой по месяцам

Очевидно, что некорректные исходные данные приводят к некорректным выводам. Поэтому важнейшим этапом анализа данных является их комплексная предварительная обработка: сглаживание, удаление шумов, редактирование аномальных значений, заполнение пропусков и многое другое. При этом используются алгоритмы робастной фильтрации, спектрального и вейвлет-анализа, последовательной рекуррентной фильтрации, статистического анализа. Если при этом каждое поле анализируемого набора

обрабатывается независимо от остальных, то такая предобработка получила название парциальной. Более широкая трактовка термина «препроцессинг» соответствует разведывательному анализу данных, в рамках которого осуществляется отбор информативных признаков и понижение размерности входных данных путем устранения незначачщих факторов [73].

Вскоре после выхода первых прототипов «умной пыли» и проведения первых экспериментов по измерению физических параметров и передачи данных на большие расстояния, используя беспроводные сенсорные сети, ученые выявили, что проблема энергопотребления является крайне важной.

Двумя характерными сенсорными модулями такого типа являются Wasp mote [79] и Flyport [80], изображенные на рис. 2.29.



**Рис. 2.29.** Коммерческие сенсорные модули (а) Wasp mote и (б) FlyPort

При разработке сенсорного модуля многое (в том числе энергопотребление, размер, методология проведения измерений) зависит от технологии изготовления датчика для обнаружения газов (оптические, полупроводниковые сенсоры).

Колориметрические пленочные датчики являются популярными для использования в сенсорных модулях. Они отличаются малым потреблением мощности (~4 мВт) и могут быть изготовлены в миниатюрном типоразмере, например, 0603 монтажа на поверхность [91]. Датчик такого типа применен в автоматическом газовом детекторе [92],

который состоит из двух плат – коммерческой платформы MICA2Dot с микроконтроллером и радиопередатчиком и тестовой платы с установленным датчиком. Датчик представляет собой излучатель, который направляет поток света на фотодетектор через колориметрическую пленку. При появлении опасного газа цвет пленки меняется, что в свою очередь изменяет поток света, принятый фотодетектором. Если измеренная величина превышает установленный порог, значение которого хранится в памяти микроконтроллера, то это значение или сигнал опасности передается пользователю при помощи радиопередатчика и инфраструктуры беспроводной сенсорной сети.

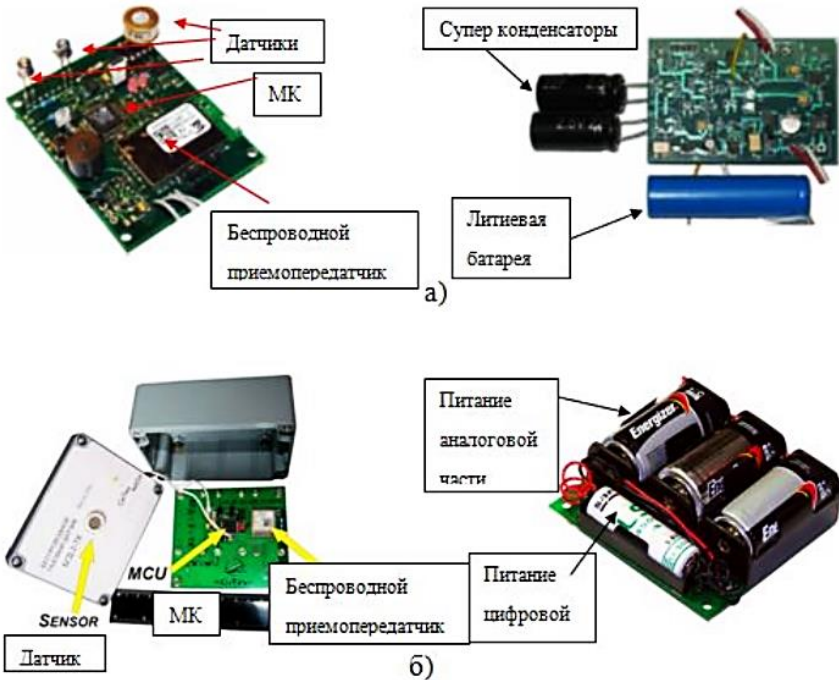
Сенсорный модуль iWENN, представленный в исследовательской работе [93], как и предыдущая платформа, состоит из коммерческого сенсорного модуля TIR710C компании Maxfog и тестовой платы с пленочным сенсором, основанным на пленке  $\text{SnO}_2 \cdot \text{CuO}$  с чувствительным слоем  $\text{SnO}_2 \cdot \text{Pt}$ . В присутствии газа сопротивление пленки меняется. Это изменение по амплитуде, однако, достаточно малое и для его обнаружения микроконтроллером используется усилитель. Принцип действия одинаков и при детектировании газов колориметрическим датчиком – если пороговое значение превышено, то это измерение или сигнал тревоги передается по сети пользователю. Обе сенсорные системы [93, 94], основанные на пленочных датчиках, отлично подходят под автономную концепцию работы беспроводных сенсорных сетей, имея малое энергопотребление и физический размер. Но ряд недостатков, присущих датчикам пленочного типа, не позволяют использовать их в реальных условиях и применениях требующих выполнения норм стандартов. Например, пленочные датчики, как правило, имеют достаточно долгий отклик в размере нескольких минут, что не удовлетворяет стандартам, требующим проведение измерений каждые 20 с.

Сенсорные платформы на основе оптических датчиков, напротив, обладают быстрым откликом, способны обнаруживать очень малые концентрации газов, но являются чрезмерно энергопотребляющими для концепции беспроводных сенсорных сетей. Сенсорный модуль, разработанный в работе [94], способен обнаружить большое количество опасных газов, имея малое время отклика. Энергопотребление датчика составляет

800 мА (без учета потребления радиопередатчика и процессорной части), что делает большинство систем мониторинга на основе оптических датчиков не пригодными для автономных систем.

Компромиссом между пленочными и оптическими датчиками для применения в беспроводных сенсорных сетях служат полупроводниковые и каталитические датчики, которые потребляют меньше мощности при работе, чем оптические датчики, и имеют достаточно быстрый отклик в пределах нескольких секунд, что превосходит скорость отклика пленочных датчиков. Каталитические и полупроводниковые датчики работают на принципе нагрева чувствительного слоя датчика, который меняет свое сопротивление при появлении газа в атмосфере. Изначально эти типы датчиков потребляют достаточно много мощности при нагреве (до 600 мВт), но в последние несколько лет появились решения по снижению энергопотребления, адаптированные специально для применения в рамках «умной пыли». К таким решениям относится импульсный режим нагрева сенсора, представленный в работе [95].

Экспериментальный образец модуля показан на рис. 2.30, *а*. Основная идея заключается в применении широтно-импульсной модуляции при измерениях. Однако у этого метода есть два серьезных недостатка: (*а*) – полупроводниковый/каталитический сенсор может быстро выйти из строя при слишком высокой частоте включения и выключения нагревающего напряжения, (*б*) – только определенная скважность импульсов позволяет добиться экономии энергии при нагреве – если промежуток между нагревающими импульсами слишком растянут по времени, то датчик успеваает остыть и следующий импульс вынужден нагревать его до предыдущей температуры. Схожий импульсный метод нагрева датчика был применен и в беспроводном сенсорном модуле в работе [96], который был специально разработан для обнаружения пожаров на ранних стадиях посредством детектирования пиролиза. Однако отличительной чертой этой системы для детектирования пожаров и взрывоопасных газов является применение дополнительного модуля, способного собирать солнечную природную энергию и аккумулировать ее в суперконденсаторах и литиевой батарее.



**Рис. 2.30.** Беспроводные сенсорные платформы

для детектирования пожаров и утечек газов:

- а* – модуль для детектирования пожаров на ранних стадиях и утечек газов (слева) с источником питания (справа) на основе суперконденсаторов, литиевой батареи и возможностью сбора солнечной энергии;
- б* – модуль для детектирования утечек метана (слева) с двойным источником питания (справа) для аналоговой и цифровой частей системы

Следует отметить, что в двух предыдущих сенсорных устройствах [95, 96], датчики были включены в мостовую схему измерения, требующую два сенсора – один с катализатором, другой без. Такой подход к измерению, очевидно, является слишком энергозатратным – что особенно критично для автономных устройств «умной пыли». Поэтому для уменьшения энергопотребления были разработаны беспроводные модули, использующие один каталитический датчик и адаптированную для него процедуру измерения. Более подробная информация по измерительным схемам на одном и двух датчиках, а также их сравнение,

представлена в исследовательской работе [97]. Практически, такой сенсорный модуль представлен в работе [98] и показан на рис. 2.30, б. Его характерными особенностями являются: (а) – двойной источник питания – аналоговый для датчика и цифровой для беспроводного передатчика и микроконтроллера, (б) – четырехстадийный нагрев датчика. Новый подход к нагреву сенсора заключается в том, что позволяет проводить измерения только с одним датчиком, значительно экономя энергию. Второй датчик эмулируется двумя импульсами нагрева датчика до 200 °С. Полученный результат отклика вычитается из первых двух импульсов нагрева датчика до 450 °С.

Основные выводы по платформам – это необходимость уменьшения их энергопотребления и физических размеров для реализации применения беспроводных сенсорных устройств в труднодоступных местах [76].

### Контрольные вопросы

1. Проведите классификацию сенсоров.
2. Что представляет собой «лаборатория на кристалле»?
3. В чем заключается основной принцип газовой хроматографии?
4. Назовите обязательные составные части любого хроматографа.
5. Приведите основные характеристики детекторов хроматографов.
6. Приведите классификацию приборов типа «электронный нос».
7. Приведите классификацию химических сенсоров.
8. Приведите основные компоненты любых мультисенсорных систем.
9. Как можно классифицировать массив сенсоров?
10. На чем основаны потенциометрические методы?
11. Каким уравнением описывается влияние мешающих ионов?
12. Назовите первый параметр перекрестной чувствительности.
13. Охарактеризуйте фактор стабильности.
14. Охарактеризуйте фактор неселективности.
15. Каковы особенности конструкции ионоселективного полевого транзистора?
16. Приведите состав вольтамперометрической мультисенсорной системы.

*Контрольные вопросы*

---

17. Охарактеризуйте архитектуру измерительной системы.
18. Назовите три основных задачи обработки данных.
19. Охарактеризуйте архитектуру нейронной сети.
20. Охарактеризуйте состав и структуру гидроэкологической базы данных.
21. Какова важная особенность «умной пыли»?
22. Охарактеризуйте типовую архитектуру беспроводной энергонезависимой сенсорной сети.
23. Что относится к основным характеристикам «умной пыли»?
24. Охарактеризуйте устройство беспроводных сенсорных платформ, детектирующих пожары и утечки газов.

### **3. АНАЛИЗ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Число транспортных средств (ТС) на дорогах растет с каждым днем. При этом скорости движения повысились достаточно сильно, сравнительно с тем, что было 50 лет тому назад, также соответственно повышается и количество аварий. Усложнение узлов и агрегатов современного ТС вызывает необходимость иметь на борту автомобиля некое устройство, подобное «черному ящику» на самолете, регистрирующее основные параметры ТС.

Существует несколько соображений, из-за которых автопромышленность может пойти на реализацию такого шага. Во-первых, наличие черного ящика позволит с хорошей точностью определить причину аварии, вне зависимости от состояния водителя (который, если уж на то пошло, мог и погибнуть во время автокатастрофы), в чем заинтересована инспекция безопасности движения или дорожная полиция. Во-вторых, по информации из «черного ящика» можно будет узнать, какая именно неполадка (если таковая была) стала причиной происшествия, что позволит составить суждение о качестве продукции автопроизводителя со всеми вытекающими отсюда последствиями. И, в-третьих, в этом заинтересованы страховые компании, которым непременно захочется выяснить, адекватно ли вел себя водитель за рулем.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) начал работу над созданием стандарта устройств, записывающих информацию определенного рода, для оснащения автомобилей. В первую очередь подобными устройствами планируется оснащать грузовики, машины скорой помощи и пожарных.

В это же время три компании: IBM, Insurance Services Office и Safety Intelligence Systems сообщили о создании глобальной базы данных об автокатастрофах Global Safety Data LLC. Компании ставят перед собой цель создать систему, которая бы автоматически собирала, хранила и выдавала по требованию необходимую информацию для последующего ее анализа.

По словам сотрудников, IEEE, в мире уже существует одиннадцать производителей авто, снабжающих свои детища "черными ящиками". Есть среди них и General Motors, оснащающая свои машины сенсорными и



диагностическими модулями, записывающими информацию о скорости авто, скорости вращения вала, выброса воздушных подушек безопасности и о том, надеты ли ремни безопасности. Такими системами машины оснащаются уже около трех лет. А корпорация Delphi обеспечивает гоночные автомобили "черными ящиками" уже около шести лет.

"Черные ящики" Delphi, располагающиеся под приборной панелью гоночного автомобиля, имеют размер 100 x 100 x 51 мм и содержат 2 Мб ОЗУ для записи информации, которая записывается каждые 0,001 с [99].

Регистратор данных способен автоматически сохранять в памяти все, что происходит в течение 30 с, предшествующих аварии, и 15 с после. Последующая обработка полученной информации дает возможность воссоздать траекторию движения автомобиля и действия (или бездействия) водителя до ДТП, лучше понять обстоятельства происшествия. Во многих случаях прибор выступает не вульгарным «осведомителем», а ценным свидетелем происшествия, когда расшифрованные данные помогают установить объективные обстоятельства в интересах самих автолюбителей. Ни в коем случае устройство, предупреждают специалисты, не следует отождествлять с «черными ящиками», которыми снабжены самолеты. Оно может работать в двух режимах: записывать все, что происходит в автомобиле или передавать данные на компьютер [100].

Корпорация General Motors, как оказалось, еще в начале 90-х гг. начала устанавливать на свои автомобили устройство, которое способно выполнять многие функции "черного ящика". Это так называемый "сенсорно-диагностический модуль", входящий в блок управления подушками безопасности. Модуль постоянно обновляет в своей памяти информацию о том, что происходит с автомобилем в текущий момент времени, и если случается авария, сохраняет данные последних нескольких секунд – предшествовавших моменту срабатывания подушки. С помощью этого устройства можно точно определить скорость, с которой двигался автомобиль в момент столкновения, узнать, был ли водитель пристегнут и успел ли он воспользоваться тормозами [101].

Боб Лэндж, директор по инженерной безопасности General Motors, сообщил, что основной целью использования диагностического модуля является сбор данных об авариях с участием всех возрастных групп водителей и пассажиров – их анализ позволит в дальнейшем "создавать автомобили более безопасных конструкций".

Но польза не только в этом. В прошлом году, например, данное устройство позволило General Motors обнаружить причину самопроизвольного срабатывания подушек безопасности на моделях Cavalier и Sunfire – ошибку в программном обеспечении. Правда, в результате пришлось отозвать около 850000 машин.

Сенсорно-диагностический модуль настолько "приглянулся" корпорации, что она уже установила его на всех Buick Century, Park Avenue и Regal, Cadillac Eldorado, DeVille и SeVille, Chevrolet Camaro и Corvette, Pontiac Firebird 1999 модельного года, а через несколько лет планирует "охватить" им почти все свои автомобили.

После того, как General Motors сообщила о своем модуле, оказалось, что аналогичные приборы установлены на всех легковых автомобилях Ford 1999 модельного года. Нечто похожее имеется и у корпорации Daimler Chrysler AG. Но устройства конкурентов имеют ограниченные возможности – они лишь регистрируют факт срабатывания подушки. Кроме того, снять с них данные может только сам автопроизводитель. А модуль General Motors позволяет экспертам, расследующим аварию, снять данные самостоятельно.

Мало кто знает о том, что на некоторых моделях General Motors, в том числе на Corvette установлен так называемый "черный ящик" размером всего лишь 3 на 5 дюймов. Этот нехитрый прибор оказывает порой неоценимую помощь сотрудникам милиции. Он может, к примеру, точно определить с какой скоростью двигался автомобиль до аварии.

С 1999 г. миллионы автомобилей General Motors продаются со встроенным "черным ящиком", а точнее диагностирующим чувствительным датчиком (Sensing and Diagnostic Module – SDM). Как утверждают эксперты, ряд других автопроизводителей также используют похожую технологию, в простонародье называемую "черным ящиком".

Разобраться в причинах авиакатастроф и получить необходимые доказательства чьей-либо вины или халатности специалистам помогают установленные на борту аварийные самописцы, фиксирующие показания приборов. Их начали широко использовать, в частности, и в России, еще в 50–60-х гг., в эпоху бурного увлечения кибернетикой, когда понятие "черный ящик" было у всех на слуху. Бортовые аварийные самописцы по веянию моды стали называть «черными ящиками». Однако, по статистике,

гораздо больше человеческих жизней уносят автомобильные аварии, а не крушения самолетов. Поэтому компания DriveCam Video Systems из Сан-Диего создала одноименное устройство – своеобразный "черный ящик" для автолюбителей [102].

DriveCam – это небольшая цифровая камера, которая крепится к зеркалу заднего вида в салоне автомобиля и отслеживает действия водителя. Если его действия выходят за рамки обычных – к примеру, он резко нажимает на тормоза, увеличивает скорость или внезапно сворачивает с пути, меняет направление движения, что обычно предшествует столкновению – в следующие 30 с камера будет записывать происходящее, в том числе и звуки. Водитель может включить камеру на запись и вручную, чтобы представить потом доказательство своей невиновности в "дорожной разборке".

На карте памяти камеры помещается до 48 записанных фрагментов, которые потом может просматривать заинтересованное должностное лицо, например, менеджер компании, сдающей автомобили напрокат, заведующий гаражом машин скорой помощи и т.п. Такие устройства помогут компаниям снизить страховые выплаты, представляя достоверные свидетельства о причинах аварии и виновниках.

В Японии созданы "черные ящики" для автомобилей. Так же, как используемые в авиации бортовые самописцы, они фиксируют все действия водителя во время движения, чтобы в случае ДТП полиция могла быстро определить причину аварии.

Как сообщается сегодня, новинка с успехом прошла испытания, и в настоящее время транспортное ведомство Японии разрабатывает программу ее популяризации. Внешне – это небольшая коробочка, которую кладут в салон под переднее сиденье пассажира. Она оснащена сенсорами, реагирующими на уровень скорости, угол поворота, резкое торможение и т.д. Запись осуществляется постоянно, и устроена таким образом, что, когда бы ни случилась авария, в памяти ящика остаются необходимые параметры, зафиксированные за последнюю минуту – 55 с до ДТП и еще пять после. К "черному ящику" прилагается миниатюрная видеокамера, которая крепится к зеркалу заднего вида. Действуя по похожему принципу, она запечатлевает все, что попадало в фокус объектива в течение десяти секунд до и пяти – после происшествия.

В ходе эксперимента самописцы были установлены в 215 автобусах, такси и грузовиках. За полгода с ними в общей сложности случилось 38 различных дорожных неприятностей, и всякий раз "черные ящики" действовали безотказно. Сейчас устройство стоит порядка 100 тыс. иен (более 800 долларов), но в министерстве государственных земель и транспорта говорят, что в будущем цена может упасть в десять раз, если получится наладить массовое производство.

Сравнительно недавно автотранспортники Эстонии закончили внедрение обязательных тахографов.

Цифровые тахографы, по сравнению с нынешними механическими, обладают намного более высокой надёжностью и целым рядом технических преимуществ. Самое существенное из них – это намного более высокий уровень защищённости информации. Совершить какие-либо манипуляции с цифровым тахографом, в отличие от механического, практически невозможно. Существенно и то, что хранимая на них информация обрабатывается исключительно быстро, а значит, контролирующие лица смогут осуществлять свои функции очень оперативно. Что, конечно же, большое достоинство, поскольку вызванные этим помехи в работе будут минимальны.

Электронный тахограф, так же как и механический, будет фиксировать все данные о режиме работы данного транспортного средства, информацию о водителе машины и всех его действиях по управлению ею. Также в нём "осядут" данные и об уже проведённых контрольных операциях. Однако если к данным, хранящимся в механическом тахографе, проникнуть не слишком сложно, то в случае с электронным ситуация совершенно иная.

Доступ к ним будет возможен только с помощью специальной электронной карточки (smart-карты). Таких карточек будет четыре вида: для водителя, для транспортной фирмы, для фирмы, осуществляющей уход за тахографом, и для лиц, осуществляющих контроль.

Благодаря этому каждое лицо будет иметь доступ только к тому, что ему положено. Так, своя карта будет у водителя. При управлении машиной он вставляет её в тахограф и, в дальнейшем, там фиксируются все его действия. На этой карте сохраняется информация о всех действиях водителя за последние 28 дней.

Другая карта будет у транспортной фирмы. Её вставляют в специальное считывающее устройство, и информация о том, как использовалась

машина, тут же грузится в компьютер и может быть использована для анализа работы машины. Транспортная фирма может иметь и более одной карточки.

Специальная карточка будет для тех, кто проводит контроль. Она открывает доступ ко всем данным, имеющимся в тахографе.

По информации Эстонской ассоциации международных автоперевозчиков, полностью механические тахографы выйдут из употребления в 2020 г.

Для водителя электронный тахограф станет не только контролёром, но и помощником, так как будет автоматически оповещать водителя о том, что он находится за рулём дольше положенного и пора бы отдохнуть.

На маршрутных такси г. Челябинска в скором времени будут установлены тахографы. Необходимость их установки объясняется большим числом нарушений, допускаемых водителями этого вида транспорта

В Челябинске существуют как муниципальные, так и частные предприятия маршрутных такси. По словам сотрудников ГИБДД, муниципальные пассажирские перевозки осуществляются более или менее безопасно, с водительским составом этих предприятий проводится серьезная профилактическая работа. Водители же, принимаемые на работу в частные предприятия, не проходят сверку с базами данных ГИБДД. То есть к управлению пассажирским транспортом могут допустить водителя, который ранее задерживался за управление автомобилем в нетрезвом состоянии. Кроме того, владельцы частных маршрутных такси пренебрегают техосмотром и выпускают на линию неисправный транспорт.

Бороться с нарушениями в работе маршрутных такси довольно трудно. Поэтому в МУП «Челябгортранс» возникла идея установить на маршрутных такси своего рода «черные ящики», которые будут фиксировать параметры, наиболее важные для обеспечения безопасности: маршрут движения, скорость и время в пути. Посредством такого устройства контролирующие органы смогут в любой момент получить необходимую информацию о передвижениях маршрутных такси. Это позволит упорядочить и полностью проконтролировать организацию движения и безопасность пассажирских перевозок.

Приказом Минтранса РФ от 7.07.1998 г. № 86 для осуществления международных и междугородных перевозок утверждены "Правила использования тахографов на автомобильном транспорте в Российской

Федерации". Тахограф – контрольное устройство для непрерывной регистрации пройденного пути, скорости движения, время работы и отдыха водителя, применяется для повышения безопасности международных и междугородных перевозок пассажиров и грузов автомобильным транспортом.

Для автотранспортных предприятий, осуществляющих международные перевозки, электронно-механические тахографы разрешено использовать до естественного износа транспортного средства, но не более до 2009 г.

В настоящее время цифровые тахографы разрешено использовать только при перевозках по территории Российской Федерации. С августа 2004 г. эти тахографы станут обязательны для всех вновь выпускаемых транспортных средств, осуществляющих международные перевозки.

Цифровые тахографы – это принципиально новый тип контрольных приборов, технические требования к которым определены Дополнением 1В Международного договора ЕСТР, участником которого является Российская Федерация.

Цифровые тахографы обладают существенными преимуществами по сравнению с используемыми в настоящее время электронно-механическими. Основными отличиями являются отсутствие однодневной бумажной тахограммы и иной алгоритм работы. Накопление и хранение информации в цифровом тахографе осуществляется в электронной форме на специальной, индивидуальной для каждого водителя, карте. Цифровой тахограф обеспечивает сохранение записанной за последние 365 рабочих дней информации, которая может быть передана на центральный компьютер автотранспортного предприятия для автоматизированного учета работы водителя и транспортного средства. Карта водителя накапливает и сохраняет информацию о работе водителя за последние 28 суток. Тахограф имеет печатающее устройство, исключающее возможность несанкционированного искажения данных и обеспечивающее сотрудникам инспектирующих органов оперативное получение интересующей информации.

### **3.1. Тахографы**

Возрастающие объемы грузовых и пассажирских международных перевозок в Европе привели к необходимости согласования законных интересов различных групп (владельцев грузов, перевозчиков, страховых

компаний, водителей, организаций, контролирующих перевозки, и т.п.). 1 июля 1970 г. в Женеве было заключено Европейское соглашение о работе экипажей транспортных средств ЕСТР (АЕТР), производящих международные автомо-бильные перевозки. Соглашение создало условия для свободной конкуренции европейских транспортных компаний; был принят единый регламент труда и отдыха водителей, например, время управления за неделю не более 45-ти часов; время непрерывного вождения не более 4,5 часов; время управления в сутки не более 9 часов при минимальном перерыве 45 мин. В 1978 г. Советский Союз подписал ЕСТР, а в 1992 г. Российская Федерация подтвердила членство в этом Международном договоре.

С 24 апреля 1995 г. все автотранспортные средства государственных участников ЕСТР, допускаемые к международным пассажирским (автобусы с числом мест более 9, включая водителя) и грузовым (автомобили полной массой свыше 3,5 тонны) перевозкам (за исключением перевозок аварийных, спасательных, коммунальных, медицинских и других подобных служб), обязательно оборудуются контрольными устройствами – ЕС-тахографами.

Тахограф – специализированная комбинация приборов, составленных из спидометра, семиразрядного одометра, часов, сигнализатора превышения скорости. Вся информация с этих приборов заносится автоматическим самописцем на сменные диски – эти носители информации защищены и доступны только обладателю запорного ключа (зачастую это и есть владелец предприятия).

Комбинация приборов достаточно компактна, и устанавливается на штатное место автомобильного спидометра.

Основное назначение этого комплекса приборов – контроль скоростного режима, пробега, режима эксплуатации двигателя и других параметров грузового автомобиля или автобуса, выполняющего регулярные перевозки/рейсы. Поэтому этот прибор наиболее подходит владельцам больших и малых автотранспортных предприятий и предпринимателям, работающим с наемными водителями.

Применение тахографов на грузовых автомобилях и автобусах позволяет:

- обладать достоверной информацией о действиях водителей во время рейса (общий и суточный пробег, время рейса, режим работы двигателя и прочее);
- точно и доказательно подходить к оценке работы водительского коллектива;
- значительно снизить эксплуатационные издержки (кругорейс, расход топлива, износ шин и т.д.) и увеличить ресурс автомобилей, их двигателей прицепов;
- защитить предприятие и водителей при разрешении конфликтных ситуаций с ГИБДД на трассе и в суде.

Для того чтобы использовать показания тахографа при расследовании обстоятельств ДТП в судебных разбирательствах, тахограф должен быть метрологически поверен (иметь оттиск поверительного клейма) и настроен в авторизованном сервисе. Метрологический контроль и нанесение поверительного клейма может быть сделано только поверителями государственной метрологической службы. Во многих регионах метрологический контроль проводится поверителями непосредственно в сервисных мастерских по обслуживанию тахографов и объединяется с периодическим сервисным обслуживанием и настройкой тахографа на передаточное отношение трансмиссии автомобиля не реже одного раза в два года в соответствии с требованиями ЕСТР.

Поверительное клеймо может наноситься на корпус тахографа, в свидетельство о государственном метрологическом контроле или на штамп в паспорт тахографа. Периодичность государственной метрологической поверки 1 год.

Наличие поверительного клейма также контролируется органами ГИБДД при проведении государственного технического осмотра (позиция 706 диагностической карты ГТО). Работоспособность тахографа при ГТО определяется только документальным путем. Работоспособным считается тахограф, имеющий действующее по срокам поверительное клеймо и установочную сервисную табличку, на которую нанесены сведения об автомобиле и штамп авторизованной сервисной мастерской, проводившей настройку и техническое обслуживание тахографа. При установке и настройке тахографов определяют длину эффективной окружности колеса и константу автомобиля (количество импульсов от датчика скорости на



1 км пути). По полученным результатам настраивают тахограф и наклеивают сервисные таблички с фактическими данными. Дата последнего технического обслуживания и настройки тахографа наносится на установочную табличку. Установочная сервисная табличка наклеивается на внутреннюю сторону корпуса тахографа, видимую при открытой крышке. По завершении работ опломбируют всю систему специальными пломбами.

Пломбированию при установке и настройке тахографа подлежат:

- установочная и дополнительная таблички прозрачной пломбировочной пленкой;
- электрические элементы соединения тахографа и датчика пломбами;
- крышки и детали корпуса тахографа пломбами, препятствующими воздействию на узлы прибора, которые обеспечивают достоверность его показаний.

В соответствии с действующими международными и российскими нормативными правовыми актами использование тахографов обязательно:

- при осуществлении международных перевозок – на грузовых автомобилях полной разрешенной массой свыше 3,5 тонны и автобусах с числом мест более 9, включая водителя. Основание: международный договор "Европейское соглашение, касающееся работы экипажей транспортных средств, производящих международные перевозки (ЕСТР)", Федеральный закон "О государственном контроле за осуществлением международных автомобильных перевозок и об ответственности за нарушения порядка их выполнения" от 24.07.1998 г., № 127; Федеральный закон № 9 от 02.01.2000 г. "О внесении дополнений в статью 8 федерального закона "О государственном контроле за осуществлением международных автомобильных перевозок и об ответственности за нарушения порядка их выполнения" от 24.07.1998 г., № 127";

- при осуществлении междугородных перевозок на автобусах с числом мест более 20 и грузовых автомобилях полной массой свыше 15 тонн, изготовленных после 1 января 1998 г. Основание: постановление Правительства Российской Федерации "О повышении безопасности международных и междугородных перевозок пассажиров и грузов автотранспортом" от 03.08.1996 г., № 922, "Положение об обеспечении безопасности перевозок пассажиров автобусами" (приказ Минтранса России от

08.01.1997 г., № 2). Не подлежат обязательному оснащению тахографами, согласно ЕСТР, автотранспортные средства следующих категорий:

- автотранспортные средства, используемые для перевозки на регулярных линиях, протяженность которых не превышает 50 км;
- автотранспортные средства, разрешенная максимальная скорость которых не превышает 30 км/ч;
- автотранспортные средства (за исключением осуществляющих перевозки на коммерческой основе), принадлежащие учреждениям, не попадающим под действие правовых актов о лицензировании перевозочной деятельности.

Приобретение, установку и настройку тахографов следует производить только в официальных сервисных мастерских, имеющих соответствующие лицензии и фирменные оттиски – идентификационные клейма, зарегистрированные в так называемом "полицейском каталоге" стран ЕС.

Адреса авторизованных сервисных пунктов, которых на территории РФ и стран СНГ в настоящее время уже более ста, и порядок проведения государственного метрологического контроля можно узнать в отделениях Российской транспортной инспекции Минтранса России или непосредственно обратившись в один из таких сервисов. При самостоятельном приобретении тахографа, особенно бывшего в употреблении, следует обращать внимание на следующее: прибор должен быть полностью "электронный"; иметь знак официального утверждения типа тахографа, который нанесен на заводскую табличку; контролируемые параметры должны записываться на диаграммном диске, временной интервал непрерывной записи которого не более 24 часов; желательно наличие поверительного клейма на корпусе или в паспорте тахографа. Не секрет, что большинство предлагаемых "с рук" тахографов сняты с производства, они не являются ЕС-тахографами и законодательно запрещены к применению. С таким тахографом транспортное средство просто не впустят на территорию стран ЕС.

За нарушение правил использования тахографов при осуществлении международных перевозок, например, в Германии предусмотрены серьезные штрафные санкции (из каталога штрафных санкций):

- отсутствие тахографа – 1000 DM;
- тип тахографа не соответствует требованиям ЕСТР – 300 DM;

- тахограф установлен, но не используется – 200 DM;
- тахограф неисправен – 200 DM.

Российским законодательством за нарушение правил использования тахографов предусмотрен штраф в размере до 25 МРОТ.

При осуществлении международных перевозок особенно тщательно нужно выполнять предписания ЕСТР по нормам режимов труда и отдыха водителей, так как за превышение установленного времени управления транспортным средством следует штраф 50 DM за каждые 30 минут превышения, а за сокращение отдыха – 40 DM за каждый час (из каталога штрафных санкций Германии).

Опыт государств, где применение тахографов является обязательным, убедительно доказывает, что его наличие на автомобиле способствует развитию у водителей навыков безопасного и экономичного управления. Аварийность снижается в среднем на 25...30 %. Исключаются конфликты между водителями и инспекторами. При расследовании причин аварий можно с секундной точностью восстановить ход событий и избежать ошибочных обвинений. Обработка записей позволяет автоматизировать учет работы водителей и автомобиля, а также оптимизировать их работу и снизить эксплуатационные расходы.




#### **3.1.1. Автомобильные ЕС-тахографы**

ЕС-тахограф автомобильный – это бортовое электронное контрольно-измерительное средство, устанавливаемое взамен спидометра или совместно с ним, предназначенное для непрерывной индикации и регистрации скорости движения, пробега, периодов труда и отдыха водителя (рис. 3.1, 3.2). Принцип работы тахографа основан на обработке электрических сигналов, поступающих с импульсного датчика пути/скорости, устанавливаемого на коробке передач. Переключение режимов работы тахографа осуществляют водители. Параметры автоматически регистрируются на персональном диаграммном диске для каждого водителя.

При потребности контролировать обороты двигателя, расход топлива, режимы работы специального оборудования (подъемника, бетономешалки, холодильной установки и т.п.) допускается установка на тахограф дополнительных самописцев и соответствующих датчиков на автомобиль.




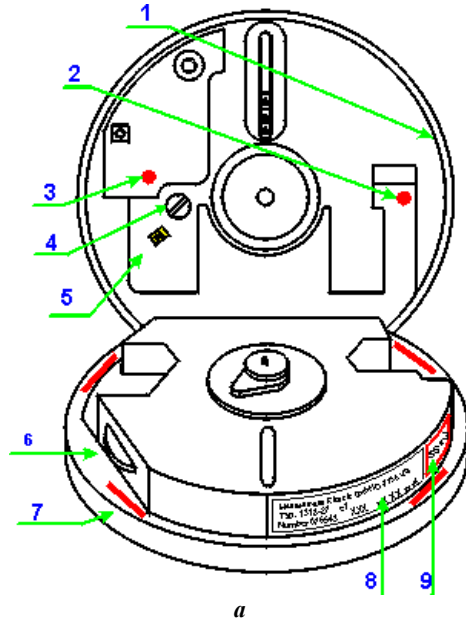
**Рис. 3.1.** ЕС-тахограф автомобильный: 1 – скорость; 2 – время; 3 – пройденный путь; 4 – переключатель режимов работы 1-го водителя; 5 – переключатель режимов работы 2-го водителя; 6 – режимы работы; 7 – индикатор установки диаграммного диска; 8 – индикатор превышения скорости

В положении переключателя  тахограф автоматически фиксирует два режима работы водителя: при движении автомобиля – режим вождения; при остановке автомобиля – режим пассивной работы (в том числе простои на светофорах, в пробках, в очередях и т.п.). В положении переключателя  записывается любая трудовая деятельность водителя, кроме вождения (оформление документов, ремонт автомобиля и т.п.). Переключатель устанавливают в положение  при перерывах в работе и отдыхе водителя. При этом автомобиль стоит.




**Рис. 3.2.** ЕС-тахограф автомобильный

Отличить ЕС-тахографы можно по маркировке  – знаку официального утверждения типа тахографа, нанесенному на заводскую табличку (шильдик) (рис. 3.3).



Datum	21.02.2000	
L	3253	mm
W	56.30	lmp/km
Fz-I-Nr	X234567YB23	
App.No	0309522	
		ШТАМП СЕРВИСНОГО ЦЕНТРА

б

**Рис. 3.3.** Тахограф (а) и установочная таблица (б): Datum – дата установки (поверки), L – длина окружности колеса, W – константа автомобиля, Fz-I-No – номер шасси автомобиля, App No – заводской номер прибора; 2 – пломба одометра; 3 – пломба переключателя констант; 4 – регулятор предельной скорости; 5 – значение предельной скорости; 6 – регулятор часового механизма; 7 – пломбы одометра и часов (4 шт.); 8 – табличка завода-производителя; 9 – табличка константы прибора 

Диаграммный диск изготовлен из специальной бумаги, на которую последовательно нанесены: слой черной краски, слой прозрачного пластика

и белый слой оксида цинка. Поверх этих слоев типографским способом нанесены шкалы и знаки. Когда игла самописца тахографа производит запись, происходит удаление слоя оксида цинка и проступает черный цвет подложки. Одновременно игла оставляет характерный след на слое пластика, который используют при идентификации диаграммного диска и тахографа.

Диск имеет отверстие грушевидной формы, позволяющее установить его только в одном, строго скоординированном положении. На обороте диска нанесены графы, необходимые для записей от руки, а также знаки официального утверждения, в прямоугольниках которых проставлена буква **Е**, за которой следует отличительный номер страны (например: 1 – Германия, 2 – Франция, 22 – Российская Федерация), перечень номеров официального утверждения тахографов и значение предельно допустимого скоростного режима.

Запись времени разделена на четыре периода:



– время управления автомобилем,



– время присутствия на рабочем месте (в кабине),



– время прочей работы вне кабины,



– время перерывов и отдыха.

Периоды записываются в виде равномерно заштрихованных полос различной высоты: условные обозначения таких записей приводятся на

каждом диаграммном диске дважды.

На лицевой части диаграммного диска (рис. 3.4), по периферии записываемого от руки центрального поля 1, находятся зоны автоматической записи пробега, режимов "работа-отдых" и скорости движения.

Зона записи пробега 2 ограничена двумя двойными штриховыми линиями. На стоящем автомобиле перо самописца пробега прописывает в этой зоне часть окружности, а при движении зигзагообразно отклоняется вверх-вниз. Каждый 1 мм отклонения соответствует 1 км пробега. Вся ширина зоны записи составляет 5 мм и соответствует 5 км пробега, следовательно, полный период линии записи соответствует 10 км пробега. Для подсчета пробега достаточно сосчитать число вершин полных зигзагов и

умножить на 10, а потом прибавить значение неполных зигзагов из расчета 1 мм – 1 км пробега.



Рис. 3.4. Лицевая часть диаграммного диска

Запись времени работы и отдыха водителя осуществляется в зоне, расположенной по периферии зоны записи пробега 3.

Для определения длительности периода или конкретного времени, когда произошло то или иное записанное событие, диаграммные диски снабжены шкалами времени на 24 часа (с градуировкой 1, 2, 3 ... 24 часа) и делениями с интервалом 5 мин. Одна шкала времени расположена по наружному краю диска 4, вторая – снаружи зоны записи режима работы и отдыха водителя 5.

Зона записи скорости 6 расположена между шкалами времени. Определение скорости движения заключается в сравнении диаграммы скорости с пунктирными линиями шкалы скоростей, градуированных 20; 40; 60; 80; 100; 120 и 125 км/ч.




Каждый случай открывания крышки тахографа отмечается на диаграммном диске в виде маленьких запятых на всех линиях записи тахограммы.

Тахографические диски рассчитаны на одни сутки работы. Применение использованных дисков приводит к загрязнению кинематического механизма тахографа и его скорейшему износу.


Запись режима времени управления автомобилем – включается автоматически после начала движения.

Водитель, управляющий автомобилем, условно считается "первым", а присутствующий в кабине – "вторым". Диаграммный диск "первого" водителя в тахографе находится сверху, а второго под разделительной крышкой. При смене водителей диаграммные диски в тахографе следует обязательно поменять местами.

В начале рабочего дня каждый водитель обязан предварительно заполнить среднюю часть нового диаграммного диска, вписав от руки:

-  – Ф.И.О. водителя;
-  – пункт отправления;
- 19\_\_ – дата установки диска (над чертой);
- NO – регистрационный номер автомобиля;
-  – начальное показание счетчика пробега.

После завершения суточной работы диаграммный диск следует вынуть из тахографа и дополнить следующими записями:

- 19\_\_ – дата снятия диска (под чертой);
-  – конечное показание счетчика пробега;
- КМ – вычислить пробег за поездку.

Оформленные полностью диаграммные диски за прошедшие дни текущей недели и за последний рабочий день предыдущей недели должны храниться в автомобиле и предъявляться по первому требованию контролирующих органов.




Предварительно заполненные диаграммные диски устанавливаются в тахограф перед началом работы. Установка диаграммных дисков в тахограф выполняется в следующем порядке. Вставить ключ в замок передней крышки тахографа и повернуть его на 90° против часовой стрелки, открыть тахограф. Поднять разделительную плату и установить диаграммный диск "второго" водителя, опустить разделительную плату и установить диск "первого" водителя. Оба диска устанавливаются лицевой частью вверх.



При их установке следует обратить особое внимание на правильное сопряжение грушевидного отверстия с посадочным узлом, а также сверить текущее время и при необходимости скорректировать показание часов. Перевод стрелок часов выполняется поворотом зубчатого колеса при открытой крышке тахографа.

Оборотная сторона диаграммного диска (красного цвета) используется, если по какой-либо причине тахограф не работает или когда водители работают в удалении от автомобиля и не могут пользоваться тахографом. В этих случаях поле для записи режимов времени заполняется от руки.

При замене автомобиля в течение одного рабочего дня заполняется от руки средняя часть оборотной стороны диаграммного диска:

-  – время замены автомобиля;
- NO – регистрационный номер нового автомобиля;
-  – начальное показание счетчика пробега;
-  – конечное показание счетчика пробега;
- КМ – пробег за поездку.

Заполненный таким образом диаграммный диск переносится в тахограф другого автомобиля. В общей сложности диск обеспечивает возможность записей о замене до трех автомобилей.

При покупке новых диаграммных дисков необходимо соблюдать два правила. Во-первых, знак официального утверждения типа e157 должен присутствовать на оборотной стороне диаграммного диска. Во-вторых, максимальная скорость, на которую рассчитан тахограф (125 км/ч), должна совпадать с указанной скоростью на оборотной стороне диаграммного диска. Тахограф имеет систему самодиагностики.

При подключении тахографа к электропитанию, после его обесточивания, стрелка и самописец скорости отклоняются до максимального значения шкалы и тут же возвращаются в нулевое положение сразу после начала движения автомобиля.

При нарушении работы датчика скорости или его соединений с тахографом стрелка и самописец скорости будут совершать ритмические

колебания с интервалом в 8 с, т.е. указанные нарушения в работе тахографа не только индицируются, но и записываются на диаграммном диске.

В случаях появления неисправностей или при отказе тахографа, по истечении двух лет после его установки или последней проверки, при замене изношенных шин на новые или другого размера при ремонте автомобиля, связанном с нарушением хотя бы одной из пломб, следует незамедлительно обратиться в мастерскую по сервису тахографов.

Расшифровка диаграммных дисков производится на специализированном оборудовании или визуально (рис. 3.5, 3.6).



**Рис. 3.5.** Расшифровка диаграммных дисков с использованием ПЭВМ и сканеров



**Рис. 3.6.** Расшифровка диаграммных дисков с использованием увеличительных устройств

### 3.1. Тахографы

Российские перевозчики, работающие на международных рейсах, тахографами пользуются не первый год. Однако повсеместное введение приборов оптимизма на наших предприятиях не вызывает. В первую очередь это связано с высокой стоимостью тахографов. Цена приборов российского производства (фирма МЕТТЭМ, Чистопольский часовой завод) – 6 тыс. руб.

Уместно вспомнить, что подвижной состав предприятий в большинстве регионов России сократился более чем в половину, а покупать новую технику не на что.

Тахограф, установленный на автомобиле, как и любой другой измерительный прибор, нуждается в юстировке, первичной поверке и последующей проверке точности его показаний. Для этого фирма "МАХА" предлагает специальный прибор ТМК 1 (рис. 3.7).



**Рис. 3.7.** Диагностические стенды в составе устройства диагностики тахографов: *а* – стенд проверки точности показаний автомобильных спидометров; *б* – стенд проверки точности показаний автомобильных спидометров; *в* – подключение прибора ТМК 1

Прибор применяется для проверки тахографов всех поколений.

Проверка происходит при подсоединении прибора к следующим диагностическим стендам:

- силовой роликовый тормозной стенд проверки мощностных характеристик автомобиля;
- стенд проверки точности показаний автомобильных спидометров.

Возможные проверки при подсоединении к силовому тормозному стенду:

- количество оборотов на единицу пути в механических тахографах;
- количество импульсов на единицу пути в электронных тахографах;
- эффективная длина окружности шины;
- самотестирование;
- проверка работы ограничителя скорости;
- определение, настройка и последующая проверка частот вращения;
- программирование и автоматическое тестирование устройств регистрации тахографов в соответствии с европейским законодательством FTCO 1319, включая автоматическую передачу измеренных величин и импульсов на единицу пути;
  - распечатка полного протокола испытаний с указанием организации времени проведения теста;
  - определение точности хода часов тахографа;
  - дополнительные проверки возможные при подсоединении прибора к роликовому агрегату с быстрой частотой вращения (мощностной стенд или стенд проверки спидометров);
  - контроль точности скоростных показаний спидометров и тахографов.

Еще одна причина для скепсиса со стороны автотранспортников связана с отсутствием в России прямой связи системы контроля и наказания. А без этого введение тахографов бессмысленно. К тому же на смену этим приборам уже идут электронные системы учета, основанные на смарт-картах. Для них не потребуются, например, особые специалисты для расшифровки тахограмм, так как это сделает компьютер.

### 3.1.2. Цифровые тахографы

#### 3.1.2.1. Цифровой тахограф DTCO 1381

Внешний вид тахографа DTCO 1381 представлен на рис. 3.8.

Показатели тахографа:

- полностью цифровой тахограф;
- формат автомагнитолы ISO 7736;
- удобный жидкокристаллический дисплей 2x16 символов;
- два слота для смарт-карт;
- персонифицированные смарт-карты с памятью до 27 дней;
- электронная память до 1 года;
- автоматическая запись периодов езды;
- выход для оптической передачи данных;
- сигнал исправности тахографа;
- сигнал превышения заранее выбранного предела скорости;
- возможность обработки данных на ПК о поездке.



**Рис. 3.8.** Цифровой Тахограф DTCO 1381

Выпуск и установка цифровых тахографов DTCO 1381 производится с августа 2004 г.

#### 3.1.2.2. Цифровой тахограф ВАКІ TAXO 2000

ВАКІ TAXO 2000 (рис. 3.9) изготовлен в габаритах стандартной автомагнитолы.



**Рис. 3.9.** Цифровой тахограф ВАКІ TAXO 2000

Может быть смонтирован в отсеке магнитолы или любом другом удобном месте, снабжён системой меню, в случае необходимости, водителем либо полномочным представителем, запрашиваемая информация и отчеты, снимаются без проблем, клавиатура снабжена двухцветной индикацией, хорошо видимой в ночное время [103].

Тахограф выводит информацию на экран, выдавая все сообщения на русском языке. Тахограф создаёт дополнительное удобство в эксплуатации, выдавая визуальную и звуковую информацию о работе водителя и его нарушениях.

ВАКІ TAXO 2000 внешним видом подобен автомагнитоле, принтер и приемное окно карты водителя находятся под откидной крышкой. Замена рулона и картриджа производится при открытой крышке, при этом используется обычная кассовая лента в качестве контрольной.

Тахограф также снабжен скоростным принтером, выдающим исчерпывающую отчетную и графическую информацию.

Технические характеристики тахографа ВАКІ TAXO 2000 представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Технические характеристики тахографа ВАКІ TAXO 2000**

Габаритные размеры (мм)	174 x 50 x 155
Экран	6-разрядный кристаллический
Рабочее напряжение питания	10...28 В
Рабочий ток питания	max 160 мА
Клавиши	пластмассовые
Звуковое предупреждение	нарушение ограничения скорости и времени управления
Принтер	матричный, 24-игольчатый
Погрешность во времени	±5 с за 24 ч
Погрешность измерения общего пройденного пути	±1% за 1 км
Погрешность измерения скорости	±3 км/ч
Скорость принтера	в среднем 2,5 строк/с
Рабочая температура	-10 °С ... +40 °С
Условия хранения	- 50 °С ... + 50 °С
Вес	1,6 кг (не более)

### 3.2. «Черные ящики»

Устанавливаемые в настоящее время на автотранспорте тахографы заняли достаточно прочные позиции, применение и разработка «черных ящиков», в обычном понимании, сейчас практически не ведется из-за введения систем с GPS-датчиками, радиоканалами и другими подобными им системами. Однако такие GPS-системы получили наибольшее распространение в автохозяйствах и т.п.

Тем не менее именно «черные ящики» используются для сбора и обработки информации при невозможности или сложности прямой передачи информации (в крановых хозяйствах, на карьерных разработках).

#### 3.2.1. Аппаратура регистрации параметров («черный ящик» АРП-10)

Аппаратура регистрации параметров (АРП) (рис. 3.10) предназначена для регистрации, накопления, хранения, обработки и предоставления информации о параметрах и условиях эксплуатации крана на протяжении всего срока службы крана, в удобном виде для дальнейшего использования [104].



Рис. 3.10. Аппаратура регистрации параметров АРП-10

АРП – это комплекс программно-технических средств, включающий в себя:

- прибор регистрации параметров;
- блок считывания информации;
- программное обеспечение;
- кабель связи.

Прибор регистрации параметров устанавливается на кране и подключается к системе датчиков и его бортовому электропитанию.

Конструкция прибора регистрации параметров исключает возможность несанкционированного вмешательства в его работу со стороны персонала, обслуживающего кран. Авария крана не приводит к потере информации, ранее записанной в прибор регистрации параметров.

Прибор регистрации параметров выполняет следующие функции регистрации и хранения информации:

- об эксплуатации крана;
- о наработке крана и крановых механизмов;
- обо всех случаях перегрузок крана, степени загрузки крана и крановых механизмов.

Блок считывания информации предназначен для считывания информации, получаемой и накапливаемой в приборе регистрации параметров, а также для обработки и предоставления ее в удобном виде для дальнейшего использования. ПО записано и хранится на магнитных носителях (дискетах).

### 3.2.2. Прибор защиты крана ПЗК-10

Предназначен для защиты грузоподъемного крана от перегрузок, защиты рабочего оборудования от повреждения при работе в стесненных условиях или зоне ЛЭП, а также для регистрации, накопления и хранения информации о параметрах крана и условиях его эксплуатации на протяжении всего срока службы. Внешний вид прибора приведен на рис. 3.11.



Рис. 3.11. Прибор защиты крана ПЗК-10



### 3.3. GPS-системы сбора и обработки информации

GPS-системы представляют собой по сути разветвленную систему. Положение ТС определяется посредством навигационных спутников GPS. Сигнал поступает на бортовое устройство ТС и передается посредством радиомодема или телефона на базу для его последующей обработки.

Глобальные навигационные спутниковые системы определения местоположения – ГЛОНАСС (Россия) и GPS (Global Positioning System) (США) базируются на российской и американской (NAVSTAR) группировках спутников соответственно.

Они дают возможность в любой точке Земли независимо от климатических и погодных условий и времени суток практически мгновенно получать данные о местоположении любых объектов.

Погрешность при этом составляет 100 м, а при использовании специального высокоточного оборудования – сантиметры.

Преимущественно данная технология находит применение для различных видов систем мониторинга и охраны подвижных объектов. Практически все полицейские машины в западных странах, как и машины, перевозящие пассажиров, ценные и опасные грузы, оборудованы системой глобального позиционирования.

Области применения GPS/ГЛОНАСС:

- мониторинг и управление транспортными средствами;
- система записи и считывания параметров движения и состояния ТС ("черный ящик");
- прецизионные хронографы для согласования во времени пространственно разнесенных объектов;
- контроль состояния стационарных объектов;
- сопровождение перевозок ценных и опасных грузов (система мониторинга транспортных средств, служб инкассации);
- охранно-поисковые системы;
- автоматизации работ по прокладке продуктопроводов;
- высокоточные измерения деформаций несущих элементов сооружений;
- автоматизация работ по прокладке ЛЭП и ВОЛС;

- управление движением поездов и контроля состояния стационарных линейных сооружений;
- автоматизированная система эксплуатации продуктопроводов;
- система эксплуатации газового хозяйства;
- единая информационная система.

К недостаткам GPS-систем можно отнести то, что координаты ТС передаются по радиоканалам, хотя каналы в значительной степени являются закодированным, и тем не менее при современном уровне техники, его перехват и расшифровка другими лицами (кроме базы, на которую и передается вся информация) не составляет особых трудностей. Также к существенным недостаткам можно отнести использование в качестве навигационных спутников – спутниковые группы иностранного производства (в большей своей части представленные спутниками США).

Как показывает практика, использование данных спутниковых группировок иногда приводит к негативным последствиям, из-за их временной блокировки и недостаточной защиты канала данных.

К плюсам можно отнести постоянный контроль ТС с базы и возможность получения в реальном масштабе времени, в текущий момент, всей необходимой информации о ТС. Тем не менее большинство GPS-систем представляют собой просто приемо-передающую станцию, и лишь некоторые из них обеспечивают и функционирование «черных ящиков» на борту ТС.

### ***3.3.1. Автомобильный навигационный регистратор «Гранит Р-БД-АЦ.02»***

«Гранит Р-БД-АЦ-02» – это система, работающая по принципу «черного ящика» для автотранспортных средств, которая позволяет определить, где в течение дня находилось ТС, как оно перемещалось по городу (району), а также с помощью компьютера вывести на электронную карту местности маршрут следования в удобном наглядном виде [50].

Система состоит из мобильного блока регистратора (рис. 3.12), устанавливаемого на ТС, и маломощной базовой радиостанции, которая подключается к компьютеру, стоящему на диспетчерском пункте. Конструктивно-бортовой комплект оборудования выполнен в виде единого модуля, который содержит следующий минимальный набор компонентов: GPS-

приемник, радиомодем, блок памяти и аварийный блок питания. На компьютер устанавливается программа, позволяющая автоматически считывать данные с регистраторов. Одна базовая станция может обслуживать одновременно более 100 устройств регистраторов.



**Рис. 3.12.** Мобильный блок регистратора

Система позволяет:

- предоставлять точную информацию о движении транспортного средства по маршруту с целью оптимизации управления;
- избежать злоупотреблений со стороны водителей;
- в конце рабочего дня автоматически, без участия третьих лиц, получить на компьютере для анализа в удобном виде достоверную информацию о ежеминутном местонахождении, скорости, направлении движения транспортных средств за весь прошедший день.

Устройство предназначено для регистрации пройденного маршрута, скорости движения и учета состояния отдельных процессов, сопровождающих передвижение транспортного средства с последующим автоматическим считыванием этой информации по радиоканалу на диспетчерский пункт. Для передачи данных используется разрешённый для использования без регистрации диапазон частот 433...434 МГц.

Состав устройства:

- мобильный блок, включающий в себя: GPS-приемник, микропроцессор, радиомодем;
- рабочее место диспетчера – персональный компьютер и радиостанция, подключенная к разъему RS-232.

Краткие технические характеристики системы представлены в табл. 3.2.

В зависимости от необходимых выполняемых функций система может быть сконфигурирована для различных целей, как-то:

- навигационный регистратор;

- бортовой аварийный регистратор;
- скрытновозимое устройство;
- противоугонное устройство;
- управление колоннами автомобилей.

Таблица 3.2

**Краткие технические характеристики системы**

Точность позиционирования	не менее 30 м
Диапазон рабочих частот	433...434 МГц
Чувствительность приемника	1 мкВ
Мощность передатчика	10 мВт
Дальность радиосвязи	100 м
Скорость передачи данных	4,8 кбит/с
Емкость буфера памяти	4 Мб
Объём информации, хранимой в памяти (период записи 60 с)	3 сут.
Время чтения данных, накопленных за 1 сутки	20 с
Напряжение питания	8...35 В
Потребляемый ток	500 мА
Защита от внешних воздействий	IP67
Рабочая температура	-40 ... +50 °С
Вес мобильного блока	0,5 кг
Габаритные размеры	140 x 100 x 60 мм

1. Навигационный регистратор. Реализует функции контроля пройденного пути, отклонения от маршрута, соблюдение графика движения, ведение базы данных по каждому транспортному средству для контроля пробега и списания топлива.

Состав:

- GPS-приемник;
- радиомодем;
- базовая станция;
- питание от бортовой сети автомобиля.

Потребители:

- автохозяйства различной сферы;
- грузоперевозки;
- строительные компании;
- общественный транспорт.

2. Бортовой аварийный регистратор. Предназначен для протоколирования процессов, происходящих при ДТП. Определение местоположения, скорости движения, ускорения, тормозного пути.

Состав:

- инерциальный модуль, содержащий акселерометры и датчики угловой скорости;
- датчики основных систем управления автомобилем;
- разъем RS-232 для подключения датчиков;
- мобильный терминал страховщика;
- автономное питание после ДТП.

Потребители:

- страховые компании;
- владельцы застрахованных транспортных средств.

3. Скрытновозимое устройство.

Определение местоположения транспортного средства, взятого под оперативный контроль правоохранительными органами.

Состав:

- автономное питание;
- мобильная базовая станция наблюдения.

Потребители: правоохранительные органы.

4. Противоугонное устройство. Передача сообщений с угнанного автомобиля на базовые станции, установленные на постах ГАИ и автоматическая блокировка двигателя по команде базовой станции.

Состав:

- стандартная комплектация;
- скрытновозимое исполнение.

Потребители:

- подразделения ГИБДД;
- страховые компании.

5. Управление колоннами автомобилей. Контроль и управление большими колоннами автомобилей при совершении маршей. Определение местоположения каждого автомобиля, его скорости и технического состояния.

Состав:

- радиомодем с ретранслятором;
- мобильный терминал диспетчера.

Потребители:

- МО;
- МВД;
- МЧС.

Работа системы происходит следующим образом.

Учетная информация накапливается в регистраторе автоматически с момента его включения. Емкость буфера памяти обеспечивает объем хранимой информации за несколько суток. Для более эффективного использования памяти регистратора интервал опроса можно менять программно от 1 с до 4 мин. При этом последняя минута движения всегда сохраняется с дискретизацией 1 с, что необходимо при анализе ДТП. Отличительной чертой регистратора «Гранит 2Р-БД-АЦ» является наличие высокоскоростного канала радиосвязи, который используется для чтения данных. Для считывания информации, накопленной в «черных ящиках», в местах стоянки транспортных средств (гараж, площадка) устанавливается маломощная базовая радиостанция, подключенная к диспетчерскому центру. Передача данных происходит по радиоканалу, когда транспортное средство возвращается на место стоянки. Начало сеанса связи инициализируется автоматически без участия водителя, когда автомобиль окажется в зоне видимости базовой станции. Зона видимости базовой станции – около 100 м. Время передачи полного объема информации – около минуты.

Блок регистратора оснащен приемником сигналов системы глобальной спутниковой навигации (GPS), принимая которые он может определить свое местоположение в любой точке земного шара с точностью до 25 м. Полученные таким образом данные ежеминутно записываются во внутреннюю память регистратора. Объем памяти позволяет хранить данные о местонахождении за последние 3 дня. Когда транспортное средство попадет в зону видимости базовой станции (на расстоянии менее чем 100 м), регистратор автоматически в течение 5...20 с передает данные вместе со своим номером через базовую станцию в компьютер. Программа позволяет обрабатывать полученные от разных регистраторов данные, сортировать их по целому ряду признаков и выводить их в наглядном виде на электронную карту местности или в виде таблиц-отчетов. Также существует возможность связывать эти данные со специализированными программами контроля и учета диспетчерских служб. Достоинством

предлагаемой системы является полная автоматизация процессов накопления, чтения и обработки данных.

Под управлением программного обеспечения диспетчерского центра происходит автоматическое:

- обнаружение автомобилей, прибывших на стоянку;
- инициализация, разрыв и возобновление сеанса связи;
- чтение и сохранение данных.

Также с помощью этого программного обеспечения диспетчер может произвести анализ маршрута движения транспортных средств, отобразить маршрут движения транспортного средства на карте города (района), подготовить отчетную документацию. Программное обеспечение позволяет систематизировать считанные маршруты и сохранить их в базе данных.

Установка системы производится по достаточно простой схеме. Нужно установить на крыше ТС блок регистратора, а в гараже (или в помещении диспетчерской службы) поставить компьютер с подключенной к нему базовой станцией и программой, содержащей карту местности в электронном виде.

### ***3.3.2. Система записи параметров движения и состояния ТС со считыванием по каналам сети GSM***

В некоторых случаях при мониторинге транспортных средств не требуется постоянный контроль в реальном времени, но необходимы постоянная фиксация данных об их перемещениях и показаниях датчиков, а также возможность считывания накопленной информации в любой момент. Наиболее выгодным вариантом в этом случае является применение бортовых накопителей типа "черный ящик", оснащенных GSM-терминалом.

С этой целью ТС оборудуется бортовым накопителем БН-2 (рис. 3.13), структурная схема которого представлена на рис. 3.14. БН-2 работает следующим образом: GPS-приемник выдает данные о местоположении ТС, а также дополнительную информацию (скорость, курс, точное время и т.д.), которая записывается в энергонезависимую память управляющего контроллера. При срабатывании одного или нескольких датчиков соответствующая информация также заносится в память с привязкой к точному времени. При возникновении необходимости получения данных с

выбранного ТС на него посылается запрос, по которому управляющий контроллер передает необходимую информацию через GSM-терминал на диспетчерский центр. Возможно как получение информации о текущем местоположении ТС, так и считывание данных, накопленных с момента последнего сеанса связи с ним.



Рис. 3.13. Бортовой накопитель БН-2



Рис. 3.14. Структурная схема бортового накопителя БН-2

Полученные данные отображаются на фоне электронной карты в виде маршрутов движения ТС.

Использование сетей GSM позволяет контролировать ТС везде, где на настоящий момент функционируют сети операторов этого стандарта. Информацию о маршруте ТС, пройденном за время нахождения вне зоны покрытия, можно считать после восстановления связи с ТС.

Технические характеристики БН-2:

- фиксируемые с привязкой к реальному времени параметры ТС;
- местоположение (по данным спутникового приемника);
- скорость (по данным спутникового приемника);
- направление движения (по данным спутникового приемника);
- момент остановки ТС и длительность стоянки;
- показания дискретных и аналоговых датчиков;
- количество входов для подключения аналоговых датчиков – 3;
- количество входов для подключения дискретных датчиков – 4;
- максимальная погрешность определения местоположения

ТС – 100 м;

- входное сопротивление входов датчиков не менее 650 кОм;
- интервал фиксации данных при движении – 1...65535 с;
- интервал фиксации данных на стоянке – 1...65535 с;



- емкость внутренней памяти – 8 Мб;
- время накопления данных при интервалах их фиксации 15 с – не менее 7 суток.

Условия эксплуатации:

- диапазон рабочих температур –30...+55 °С;
- относительная влажность (без конденсации) при  $T = 25$  °С – не более 95 %;
- напряжение питания 10,8...15,2 В;
- количество входов для подключения датчиков может быть увеличено.

### ***3.3.3. Система записи параметров движения и состояния ТС со считыванием по каналам сети GlobalStar***

Очень часто возникает задача передачи информации о координатах в точку Земли, удаленную, например, на расстояние нескольких сот или тысяч километров. Традиционные системы связи (conventional, сотовая, транкинговая и т.д.) не обеспечивают выполнение поставленного условия. Эта проблема решается применением спутниковых систем связи.

Одной из самых современных разработок является глобальная система связи "Globalstar", основанная на использовании 48 низкоорбитальных спутников. Она введена в коммерческую эксплуатацию в конце 2000 г. Набор услуг системы "Globalstar" включает передачу речи, данных, факсимильных сообщений. Таким образом, при подключении выхода GPS-приемника посредством специального контроллера к терминалу "Globalstar" информацию о местоположении подвижного объекта можно передать на необходимое расстояние.

Совмещение системы местоопределения GPS со спутниковой связью "Globalstar" дает возможность отслеживать положение любых объектов и состояние их датчиков на фоне электронной карты на мониторе компьютера диспетчерского центра (стационарного или подвижного) и принимать решения о необходимых действиях (например, корректировка действий людей, связанных с контролируемым объектом, высылка специальной бригады и т.п.).

Система записи параметров движения транспортных средств (ТС) со считыванием информации по каналам современной спутниковой связи "Globalstar" (далее СИСТЕМА), разработанная в ЗАО "Навигационные системы", основана на совмещении спутниковых технологий определения местоположения GPS и системы связи "Globalstar". При этом ТС, входящие в систему, оснащаются бортовыми накопителями (БН) типа «черный ящик» ГСН-1 (рис. 3.15), структурная схема которых представлена на рис. 3.16.



Рис. 3.15. Бортовой накопитель типа «черный ящик» ГСН-1



Рис. 3.16. Структурная схема бортового накопителя типа «черный ящик» ГСН-1

Работа системы осуществляется следующим образом. Координаты местоположения ТС определяются по сигналам спутников навигационным GPS-приемником, входящим в состав бортового оборудования. Далее эти данные вместе с другой телеметрической информацией (скорость и направление движения, техническое состояние мобильного объекта, состояние систем сигнализации, перевозимого груза) записываются в память БН. Считывание информации из памяти БН ТС осуществляется с помощью абонентского терминала системы "Globalstar" по запросу с диспетчерского

центра в режиме прямого соединения "накопитель-терминал диспетчерского центра" или через Интернет. При этом ТС может находиться в любой точке России. По желанию диспетчера возможно полное или частичное считывание данных из памяти БН. Такой алгоритм работы системы позволяет сократить расходы на передачу данных.

Предусмотрен также режим мониторинга ТС, когда его текущее местоположение и другая телеметрическая информация передаются на диспетчерский центр в реальном времени. Речевая связь с экипажами может осуществляться также с помощью спутниковой системы "Globalstar".

Данная система находит эффективное применение в дальних перевозках, для контроля передвижения специализированного автотранспорта, железнодорожного и речного транспортов;

Технические характеристики ГСН-1:

- фиксируемые с привязкой к реальному времени параметры ТС;
  - местоположение (по данным спутникового приемника);
  - скорость (по данным спутникового приемника);
  - направление движения (по данным спутникового приемника);
  - момент остановки ТС и длительность стоянки;
  - показания дискретных датчиков.
  - количество входов для подключения дискретных датчиков – 6;
  - максимальная погрешность определения местоположения ТС – 100 м;
  - входное сопротивление входов датчиков – не менее 650 кОм;
  - интервал фиксации данных (конфигурируется пользователем – 1...230400 с);
  - емкость внутренней памяти – 8 Мбит;
  - время накопления данных в памяти при интервале фиксации 15 с – не менее 7 суток.
- Условия эксплуатации:
- диапазон рабочих температур –30...+55 °С;
  - относительная влажность (без конденсации) при T = 25°С не более 95 %;
  - напряжение питания 10,8 ... 28 В;
  - количество входов для подключения датчиков может быть увеличено.

### **3.3.4. Система записи параметров движения и состояния ТС с использованием электронного считывателя**

Одним из актуальных направлений применения спутниковых технологий местоопределения является получение данных о местоположении ТС в режиме постобработки. Это позволяет уменьшить стоимость системы за счет исключения из ее состава передающего и приемного оборудования.

При данном варианте построения системы ТС оборудуются бортовыми накопителями БН-1 с энергонезависимой памятью. Работа системы осуществляется следующим образом. ТС, оборудованное бортовым накопителем (БН), заступает на смену и перемещается в соответствии с путевым листом. При этом все данные о местоположении ТС, его скорости и курсе, остановках, а также о показаниях датчиков состояния, фиксируются его БН с привязкой к реальному времени. После окончания смены ТС возвращается на автобазу. Снятие данных осуществляется с помощью переносного считывателя, подключаемого к БН каждого ТС. При этом емкость памяти считывателя достаточна для последовательного опроса 16 ТС. После завершения снятия данных считыватель переносится на диспетчерский центр и подключается к ЭВМ центра для окончательного сохранения считанных данных. При необходимости БН можно подключать непосредственно к ЭВМ.

После сохранения данные можно просматривать, анализировать, подвергать автоматической статистической обработке по различным алгоритмам и составлять по ним отчеты. Полученные данные отображаются на фоне электронной карты в виде маршрутов движения ТС. Имеется возможность воспроизведения движения каждого ТС, входящего в систему.

В рассматриваемом варианте построения системы состав ее оборудования минимален по сравнению с остальными случаями. Данное построение системы наиболее оптимально, когда не требуется оперативная связь с ТС и управление.

Технические характеристики БН-1:

- фиксируемые с привязкой к реальному времени параметры ТС;
- местоположение (по данным спутникового приемника);
- скорость (по данным спутникового приемника);
- направление движения (по данным спутникового приемника);

- момент остановки ТС и длительность стоянки;
  - показания дискретных и аналоговых датчиков;
  - количество входов для подключения аналоговых датчиков – 3;
  - количество входов для подключения дискретных датчиков – 4;
  - максимальная погрешность определения местоположения ТС – 100 м;
  - входное сопротивление входов датчиков – не менее 650 кОм;
  - интервал фиксации данных при движении – 1...65535 с;
  - интервал фиксации данных на стоянке – 1...65535 с;
  - емкость внутренней памяти – 8 Мб;
  - время накопления данных при интервалах их фиксации 15 с – не менее 7 суток.
- Условия эксплуатации:
- диапазон рабочих температур –30...+55 °С;
  - относительная влажность (без конденсации) при  $T = 25^{\circ}\text{C}$  не более 95 %;
  - напряжение питания 10,8 ... 15,2 В;
  - количество входов для подключения датчиков может быть увеличено.

### **3.3.5. Система мониторинга и управления ТС с использованием УКВ-связи**

В настоящее время в западных странах наблюдается тенденция оборудовать различные транспортные средства аппаратурой систем мониторинга, основанных на технологии спутниковой навигации GPS. Это позволяет отслеживать в реальном времени местоположение и состояние датчиков ТС на фоне электронной карты местности на экране монитора компьютера диспетчерского центра, чем обеспечивается постоянный контроль оперативной обстановки и возможность своевременного принятия решений о необходимых действиях (например, корректировка действий людей, связанных с контролируемым объектом, высылка аварийной бригады и т.п.). Внедрение указанных систем приводит к значительной экономии материальных и людских ресурсов, повышению уровня безопасности и надежности систем жизнеобеспечения.

Система мониторинга и управления транспортными средствами (далее СИСТЕМА), разработанная в ЗАО "Навигационные системы", обеспечивает отображение данных о местоположении и состоянии датчиков всех подведомственных ТС на мониторе диспетчерского центра (стационарного или мобильного) в наглядной форме на фоне электронной карты местности (района, города, региона) с привязкой к реальному времени, а также управление исполнительными механизмами ТС. Одновременно в память компьютера производится запись параметров движения и состояния транспортного средства, его груза и экипажа.

В систему могут быть включены любые транспортные средства предприятия. Спектр приложений данной системы мониторинга и управления транспортными средствами очень широк.

Данная система находит эффективное применение:

- для контроля передвижения специализированного автотранспорта;
- при доставке ценных/опасных грузов (ГСМ, дорожно-строительные материалы, вредные химические материалы и т.д.);
- в дальних перевозках;
- для отслеживания графиков движения пассажирского автотранспорта и такси в системах диспетчеризации;
- в качестве противоугонных автомобильных систем;
- при автоматизации работ по прокладке и эксплуатации нефтегазопроводов;
- при эксплуатации газового хозяйства;
- при автоматизации работ по прокладке ЛЭП и ВОЛС;
- при организации и поддержке перемещения транспорта VIP-персон и объектов им принадлежащих.

Система обеспечивает:

- экономию на 30...40 % расходования горючего за счет обеспечения точного контроля пройденного ТС пути (из опыта эксплуатации системы мониторинга ТС УВО при УВД Омской области);
- практически полное исключение хищения перевозимого груза (сжиженного газа, ГСМ, дорожно-строительных материалов и т.п.) в силу обеспечения непрерывного наблюдения за перемещением и остановками ТС (до постановки системы мониторинга в ОАО «Омскгоргаз» размер хищений сжиженного газа составлял 25...30 %);

### 3.3. GPS-системы сбора и обработки информации

- повышение дисциплины персонала, исключение случаев использования служебного транспорта в иных целях;
- облегчение нахождения координат и адресов пунктов обслуживания транспортными средствами за счет развитой системы поиска;
- возможность указания экипажам оптимального маршрута проезда к заданному объекту;
- быстрое обнаружение неисправных ТС, что позволяет их своевременно эвакуировать и подменять;
- автоматизацию диспетчеризации и составления отчетных документов за любой требуемый период времени.

Оборудование ТС НБ-1200 содержит бортовой блок (2), к которому подключается GPS-антенна (3), устанавливаемая на крыше ТС. В состав блока входят GPS-приемник и контроллер ТС, а также модуль ввода сигналов датчиков. Блок подключается к терминалу радиосвязи (1) специальным кабелем. В бортовом блоке, изображенном на фотографии слева в качестве терминала радиосвязи используется УКВ-радиостанция Motorola GM350, (4) – тангента, входящая в комплект радиостанции (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Оборудование ТС НБ-1200

Основные технические характеристики системы:

- максимальное количество подвижных объектов программным обеспечением не лимитировано;
- погрешность местоопределения координат – не более 100 м;
- погрешность определения скорости объекта – 0,1 км/ч;
- быстродействие 60 ТС за 10 с (360 ТС за 1 мин) на одном частотном канале;

### *3. Анализ систем сбора и обработки эксплуатационных параметров...*

---

- полная перерисовка электронной карты масштаба 1:10000 при масштабировании составляет 0,5...2 с, при сдвиге 0,2...1 с;
- температура эксплуатации – 40С ... +40С (спутниковая антенна) –25С ... +40С (бортовое оборудование);
- зона работы системы – радиус 25 км от диспетчерского центра;
- количество датчиков на объекте – до 8 (число подключаемых датчиков может быть увеличено);
- голосовая связь диспетчера и водителя – предусмотрена;
- внеочередная передача сигнала тревоги и экстренных сообщений – предусмотрена;
- управление исполнительными устройствами на объекте из диспетчерского центра – предусмотрено;
- возможность получения отчетов – предусмотрена;
- режим “Просмотр пройденных маршрутов” – имеется.

Для работы подсистемы с использованием УКВ-связи требуется две радиочастоты: одна для передачи данных, вторая – для речи. Передача одного навигационного сообщения осуществляется за 0,1 с.

Технические характеристики НБ-1200:

- передаваемые в реальном времени на диспетчерский центр текущие параметры ТС;
- местоположение (по данным спутникового приемника);
- скорость (по данным спутникового приемника);
- направление движения (по данным спутникового приемника);
- состояния дискретных датчиков;
- периодичность передачи информации – 5...255 с;
- количество входов для подключения дискретных датчиков – 8;
- максимальная погрешность определения местоположения

ТС – 100 м.

Условия эксплуатации:

- диапазон рабочих температур, – 30...+55 °С;
- относительная влажность (без конденсации) при  $T = 25$  °С, не более 95 %;
- напряжение питания, 10,8...15,2 В.



### 3.3.6. Системы ЗАО «АСКО-информационные технологии»

Система предназначена для сбора, хранения, обработки и анализа информации о маршрутах передвижения автомобильных средств, состояния датчиков, расположенных на автомобиле [51].

Система состоит из следующих элементов:

- контрольная станция;
- устройства сбора и хранения информации.

После возвращения автомобиля из рейса, из устройства обработки информации извлекается блок памяти, который после стыкуется с контрольной станцией для считывания и последующей обработки данных, накопившихся за весь рейс.

Контрольная станция предназначена для считывания информации с блока памяти, ведения баз данных по каждому автомобилю, отображения на электронной карте местности маршрутов движения с привязкой ко времени, проведения анализа состояния датчиков.

Контрольная станция состоит из компьютера с установленной программой и устройства для считывания информации с блока памяти.

На каждый автомобиль ведется следующая база данных:

- марка автомобиля;
- марка прицепа;
- регистрационный номер автомобиля;
- регистрационный номер прицепа;
- фамилии водителей;
- тип груза;
- координаты и время;
- показания датчиков, установленных на автомобиле (если имеются).

Программное обеспечение позволяет на основе базы данных построить график пройденного маршрута с привязкой ко времени и график состояния датчиков.

Устройство сбора и хранения информации предназначено для сбора и хранения следующей информации:

- географических координат с привязкой ко времени;
- фактов срабатывания датчиков, расположенных в автомобиле или прицепе (если имеются);

- времени и даты;
- значений проекций вектора скорости по трем координатам.

Устройство сбора и хранения информации имеет съемный блок памяти. Блок памяти может быть различного объема (1 Мб, 2 Мб, 4 Мб, 8 Мб, 16 Мб). Блок памяти объемом в 8 Мб позволяет сделать 31250 записей.

Запись информации в память производится:

- автоматически (через определенные, программируемые промежутки времени, от 1 с до 255 с);
- принудительно (например, нажатием кнопки);
- при выполнении заданных условий на аналоговых входах.

Подключение датчиков осуществляется через аналоговые входы.

При наличии датчиков с нелинейными характеристиками выхода подключение осуществляется через счетно-аналоговый вход.

Технические характеристики системы:

- емкость системы, не менее – 1000;
- используемая навигационная система – NAVSTAR;
- точность определения местоположения – 40-50 м;
- время работы от резервного питания – не менее 8 ч;
- питание – 9...35 В;
- количество аналоговых входов для подключения датчиков – 4;
- количество счетно-аналоговых входов для подключения датчиков – 1.

### **3.4. Состав и технические параметры блоков непрерывной регистрации данных**

Большинство устройств, предназначенных для сбора и обработки эксплуатационных параметров, представляют собой одноплатные контроллеры, выполненные в разборном корпусе. При этом корпус выполняется либо цилиндрической формы (преобладающее большинство всевозможных тахографов, в большинстве своем с записью на диаграммный диск), либо по размерам автомобильной магнитолы (цифровые тахографы DTCO 1381 и ВАКІ ТАХО 2000). При этом подобные устройства не обеспечивают, ни в коей мере, непосредственную обработку эксплуатационных

### 3.4. Состав и технические параметры блоков непрерывной регистрации данных

параметров и защиту основных агрегатов, они лишь позволяют записать в том или ином виде малую часть параметров ТС (скорость, частоту вращения двигателя, время работы двигателя). Такие устройства лишь информируют водителя о превышении некоторых параметров ТС (превышение скорости, превышение оборотов двигателя (тахографы Kienzle)). Обработка информации с подобных устройств представляет собой сканирование дисков на сканере с последующей обработкой данных на ЭВМ либо визуальная оценка записанных данных на поверхности диска. Лишь тахограф МТСО 1324 имеет выход для оптической передачи данных, однако и в нем запись данных производится на диск.

К плюсам устройств с хранением данных на диаграммных дисках можно отнести простоту их установки (взамен штатного спидометра либо в параллель с ним где-нибудь на видном месте) и прямую визуальную оценку записанных данных.

Недостатки подобных устройств также очевидны: малый набор фиксируемых параметров, невозможность записи данных в течение длительного времени, отсутствие систем защиты агрегатов от аварийных режимов.

Следующим шагом являются так называемые «черные ящики». Подобные устройства изначально разрабатываются для записи и хранения достаточно большого количества данных, поэтому все они представляют собой полностью электронные устройства с различным набором входов/выходов, иногда снабженные средством графического отображения.

Данные устройства уже сейчас разрабатываются для использования на ТС с напряжением бортовой сети как 12 В, так и 24 В (вплоть до 32 В), что позволяет без переделки самого устройства использовать его достаточно широко. При этом «черные ящики» обладают достаточно широким набором входных и выходных каналов (от 10...12 до 80), имеют программируемый и CAN-интерфейс (системы ЕСОМАТ), позволяющие изменять ПО (даже при уже установленном на ТС контроллере) и соединять подобные устройства в некую сеть для обеспечения большей степени безопасности (Safety-контроллеры (контроллеры безопасности) ЕСОМАТ).

Плюсом данных устройств, по сравнению с тахографами, является возможность не только сохранения достаточно большого набора данных, но и возможность контроля и защиты агрегатов ТС. Наличие в подобных устройствах достаточно низкоскоростных интерфейсов (RS-232) и достаточно малые

объемы памяти (до 8 МБайт) приводят к необходимости частой передачи данных на ЭВМ для анализа.

Наиболее интересными являются GPS-системы сбора и обработки информации. При всех достоинствах классических «черных ящиков» подобные устройства в своей основной части не хранят данные на борту ТС, а передают их на диспетчерский пункт. При этом использование радиоканалов может привести к перехвату данных другими лицами.

Подобные устройства изначально проектируются как средства контроля передвижения ТС в режиме реального времени, поэтому лишь часть из них снабжена полностью функциональным «черным ящиком», в основном регистрирующим лишь часть параметров необходимых, например, в случае разбора ДТП. Поэтому и количество входов обычно ограничено.

Однако некоторые системы позволяют расширить количество входов (системы мониторинга «Арго-Страж»). Практически все GPS-блоки не имеют выходов для управления хотя бы упрощенной системой защиты от аварийных режимов. При использовании в качестве передатчика сигнала телефонов можно вызвать по нему квалифицированных специалистов, однако в случае выхода из строя агрегатов все сводится к транспортировке машины до стоянки.

Основными агрегатами ТС являются двигатель и трансмиссия, чьи эксплуатационные параметры определяются в основном: температурой масел и охлаждающих жидкостей, частотой вращения. Косвенно также сюда относится напряжение бортовой сети автомобиля. Эти параметры на современных ТС регистрируются аналоговыми, дискретными, частотными датчиками и датчиками Холла. При этом количество аналоговых и дискретных датчиков обычно составляет около 10, а количество датчиков, регистрирующих частоту вращения от 1 до 3 максимум. Количество дискретных (концевых) датчиков, устанавливаемых на ТС обычно не более 5...7, однако для того чтобы иметь более полную информацию, желательно увеличить количество таковых датчиков вдвое.

Для защиты агрегатов необходимо выдавать управляющие сигналы на некоторые исполнительные механизмы. Например, при аварийном давлении масла в двигателе желательно заглушить двигатель, чтобы избежать серьезных повреждений.

Также существует необходимость передачи получаемых данных от датчиков на ЭВМ, для последующей расширенной обработки полученных результатов, при этом требуется достаточно большая скорость передачи информации на ЭВМ.

Существующие на данный момент системы не позволяют в полной мере обеспечить все указанные выше характеристики, поскольку разрабатываются изначально как достаточно узконаправленные, специализированные устройства.

Исходя из вышесказанного, необходимо иметь на борту ТС устройство, позволяющее записывать не менее 10...15 аналоговых датчиков, 10...12 дискретных и порядка 5 датчиков вращения (по 2–3 частотных и датчиков Холла). При этом подобное устройство должно иметь не менее 3–4 выходов для выдачи управляющих сигналов, позволяющих обеспечить защиту основных агрегатов, обеспечивать связь с ЭВМ по высокоскоростному интерфейсу (на сегодняшний момент наиболее быстрым и распространенным на ЭВМ интерфейсом является USB 2.0).

Устройство должно работать на ТС с напряжением бортсети 12 и 24 В и иметь внутренний автономный источник питания.

Поскольку желательно иметь запись данных за достаточно длительное время, устройство хранения, скорее всего, должно представлять из себя электронный накопитель информации (энерго-независимая flash-память) с объемом памяти не менее 32 Мбайт, что позволяет производить запись данных в течение месяца с частотой записи 1 с.

### **3.5. Описание экспериментального образца системы непрерывного мониторинга (ЭО СНМ), разработанной в НИИ МВС ЮФУ**

В настоящее время ведется активная разработка и внедрение бортовых систем непрерывного мониторинга для автотранспортной техники различного класса и назначения. Однако эти системы не обеспечивают, в какой-либо мере, непосредственную обработку эксплуатационных параметров и защиту основных агрегатов, они лишь позволяют записать в том или ином виде малую часть параметров ТС (скорость, частоту вращения двигателя, время работы двигателя). Такие устройства лишь информируют

водителя о превышении некоторых параметров ТС (превышение скорости, превышение оборотов двигателя).

Недостатки подобных устройств очевидны: малый набор фиксируемых параметров, невозможность записи данных в течение длительного времени, отсутствие систем защиты агрегатов от аварийных режимов.

Наиболее интересными являются GPS-системы сбора и обработки информации. При всех достоинствах классических «черных ящиков» подобные устройства в своей основной части не хранят данные на борту ТС, а передают их на диспетчерский пункт. При этом использование радиоканалов может привести к перехвату данных другими лицами.

Подобные устройства изначально проектируются как средства контроля передвижения ТС в режиме реального времени, поэтому лишь часть из них снабжена полнофункциональным «черным ящиком», в основном регистрирующим некоторую часть параметров, необходимых, например, в случае разбора ДТП. Поэтому количество входов такого «черного ящика» обычно ограничено.

Существующие устройства непрерывной регистрации в большей мере ориентированы на контроль действий водителей, а не мониторинг технического состояния автотранспортных средств.

Для решения задач непрерывного мониторинга технического состояния транспортного средства необходимо измерять, обрабатывать и сохранять на порядок большее количество данных, чем это способен сделать тахограф, кроме того, зачастую для углубленной диагностики необходимы данные за весь жизненный цикл автомобиля. Решить указанные задачи способны системы, объединяющие в себе приборы класса «черный ящик», т.е. устройства (блоки) обеспечивающие непрерывную регистрацию больших объемов данных (БНРД), в течение длительного периода времени, дополнительную датчиковую аппаратуру повышенной точности и стендовое оборудование для контроля технического состояния штатной и дополнительной датчиковой аппаратуры АТ.

### ***3.5.1. Назначение ЭО СНМ***

ЭО СНМ используют для:

- контроля хода эксплуатации объектов АТ;
- мониторинга технического состояния контролируемых узлов и агрегатов объектов АТ;

### 3.5. Описание экспериментального образца системы непрерывного мониторинга...

- защиты узлов и агрегатов от аварийных режимов эксплуатации;
- ведения «электронного» паспорта объектов АТ;
- создания, хранения и обработки базы данных на протяжении всего «жизненного цикла» объектов АТ.

#### ***3.5.2. Использование ЭО СНМ, разработанной в НИИ МВС ЮФУ, на объектах АТ***

- Автомобильная техника всех марок, оборудованная штатной системой датчиков и сигнализаторов.
- Автомобильная техника всех марок, оборудованная системой дополнительных диагностических датчиков и сигнализаторов.
- В перспективе колесная тракторная техника всех марок, оборудованная штатной системой датчиков и сигнализаторов.

#### ***3.5.3. Параметры, контролируемые ЭО СНМ на объектах АТ со штатным комплектом датчиков и сигнализаторов***

- Скорость движения;
- частота вращения коленчатого вала двигателя;
- температура охлаждающей жидкости;
- давление масла в системе смазки двигателя;
- напряжение в бортсети;
- уровень топлива в баках;
- время (год, месяц, число, час, минута, секунда) в реальном масштабе;
- состояние сигнализаторов (аварийной температуры ОЖ, давления масла, давления воздуха в тормозных контурах и т.д.);
- пробег автомобиля;
- попытки несанкционированного доступа к информации БНРД.

#### ***3.5.4. Диагностические параметры, оцениваемые ЭО СНМ***

- Состояние масла в двигателе (вязкость при различных температурах);
- техническое состояние масляного насоса (давление, исправность клапанов);
- работоспособность термостата системы охлаждения двигателя;

- техническое состояние системы охлаждения (температура прогрева ДВС);
- техническое состояние компрессора;
- техническое состояние тормозной системы (наличие утечек по контурам);
- техническое состояние АКБ;
- техническое состояние генераторной установки.

### ***3.5.5. Диагностические параметры, оцениваемые ЭО СММ при установке дополнительных датчиков***

- Техническое состояние насоса гидроусилителя руля (ГУР) (датчик давления насоса ГУР);
- техническое состояние тормозной системы и ее элементов (5 датчиков давления в тормозных контурах);
- техническое состояние стартера (датчик тока стартера);
- техническое состояние двигателя по мгновенному расходу топлива (2 топливомера);
- износ шеек коленчатого вала двигателя (датчики температуры и давления масла);
- техническое состояние топливонасоса (датчик давления);
- техническое состояние воздушного фильтра (датчик разрежения);
- техническое состояние турбокомпрессора (датчик давления).

### ***3.5.6. Состав ЭО СММ***

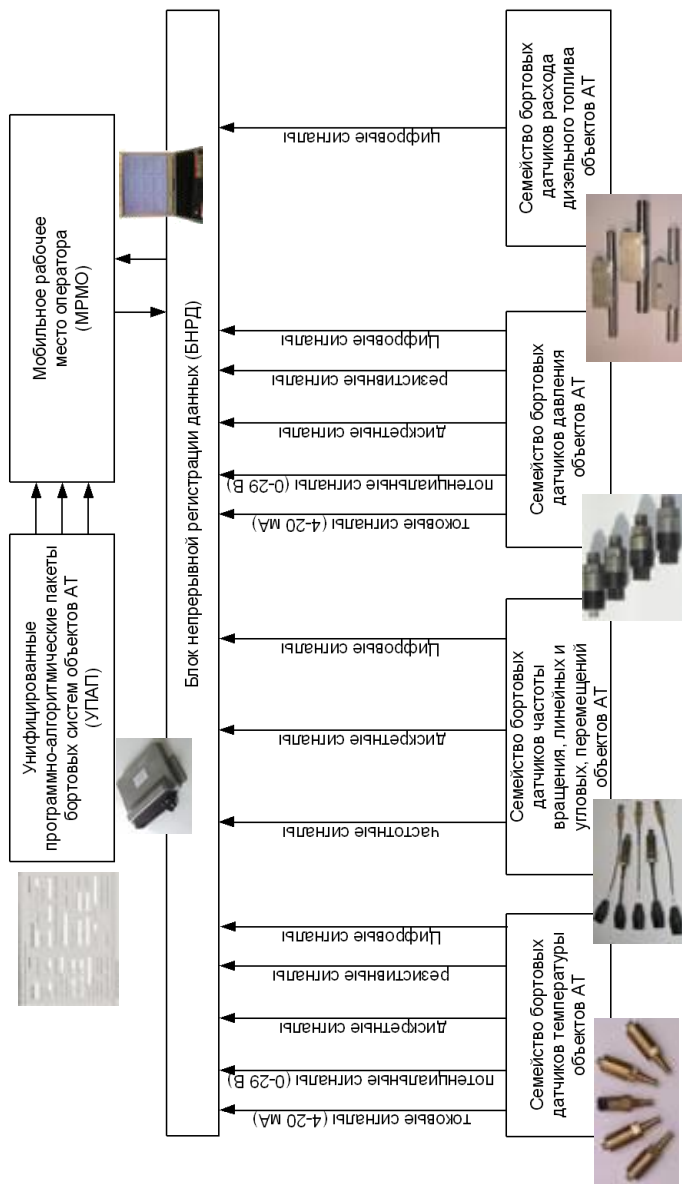
ЭО СММ состоит из двух основных частей:

- блока непрерывной регистрации данных (БНРД), представляющего собой электронный модуль, устанавливаемый на борт ТС;
- мобильного рабочего места оператора (МРМО), представляющего собой портативную ПЭВМ (ноутбук) с установленным специальным программным обеспечением (ПО МРМ).

И дополнительно комплекта стендового оборудования с комплектом эталонной диагностической датчиковой аппаратуры для тарировки штатных бортовых датчиков физических величин.

Структура системы приведена на рис. 3.18.





**Рис. 3.18.** Унифицированная система мониторингового сбора информации и контроля технического состояния объектов АТ (ЭО СНМ)

### 3.5.7. Назначение БНРД

Блок непрерывной регистрации данных (БНРД) предназначен:

- для измерения и сохранения в энергонезависимой памяти сигналов от штатных датчиков и сигнализаторов транспортного средства (ТС), состояния питающей бортовой сети, а также сигналов от дополнительной диагностической датчиковой аппаратуры с временной привязкой в формате [секунды, минуты, часы, дата, месяц, год];
- фиксации времени работы ТС;
- хранения паспорта транспортного средства (марка и модель ТС, номер двигателя, номер шасси, VIN ТС, Ф.И.О водителя);
- передачи на МРМО сохраненной информации;
- управления агрегатами ТС посредством коммутации четырех встроенных в БНРД силовых (ток до 1 А) ключей.

Обозначение:

	БНРД	-	2.	0
Наименование				
Блок непрерывной регистрации данных				
Версия разработки				
Модификация				

### 3.5.8. Назначение ПО МРМ

ПО МРМ предназначено для обслуживания одного или нескольких (количество не ограничено) БНРД. Основные функции, выполняемые ПО МРМ:

- начальная настройка (инициализация) БНРД на определенную марку ТС. При этом в системной памяти БНРД сохраняется информация о конфигурации входных и выходных каналов БНРД (количество и типы каналов, граничные значения по каналам, критерии управления по выходным каналам), паспорт ТС (№ двигателя, № шасси, VIN-код), Ф.И.О. водителя, устанавливается также текущее время и пароль доступа к БНРД;
- считывание информации из БНРД с последующей распаковкой, расшифровкой и предварительной обработкой;
- графическое отображение измеряемых физических величин в виде зависимостей от времени с возможностью масштабирования;

### 3.5. Описание экспериментального образца системы непрерывного мониторинга...

- сохранение считанной информации в единую базу данных (БД) с привязкой к заводскому номеру БНРД и временному интервалу;
- просмотр ранее сохраненной в БД информации по каждому обслуживаемому БНРД;
- диагностика состояния БНРД (степень загрузки flash-памяти, количество неисправных блоков flash-памяти, состояние измерительных и управляющих каналов).

Обозначение:

	ПО МРМ	-	2.	05
Наименование				
Программное обеспечение МРМО				
Версия разработки				
Модификация				

#### 3.5.9. Конструктивное исполнение БНРД

БНРД выполнен в стандартном литом корпусе АК12 26.3763.001. Габаритный чертеж БНРД приведен на рис. 3.19. Внешний вид БНРД, а также вид БНРД со снятой верхней крышкой приведен на рис. 3.20, 3.21.

Подключение БНРД к электрооборудованию ТС производится через стандартный 55-контактный разъем СНП 255.55 (или аналог фирмы Bosch AMP 55). Перечень каналов БНРД приведен в табл. 3.3.

#### 3.5.10. Системные требования программного обеспечения СНМ

##### **Минимальная конфигурация ПЭВМ:**

Процессор	Celeron, 1,7 ГГц
Оперативная память	128 Мб
Жесткий диск	40 Гб
СОМ-порт RS-232	1 шт.
USB 2.0 порт	1 шт.

##### **Рекомендуемая конфигурация ПЭВМ:**

Процессор	Pentium 4, 3,0 ГГц
Оперативная память	512 Мб
Жесткий диск	120 Гб
СОМ-порт RS-232	1 шт.
USB 2.0 порт	1 шт.

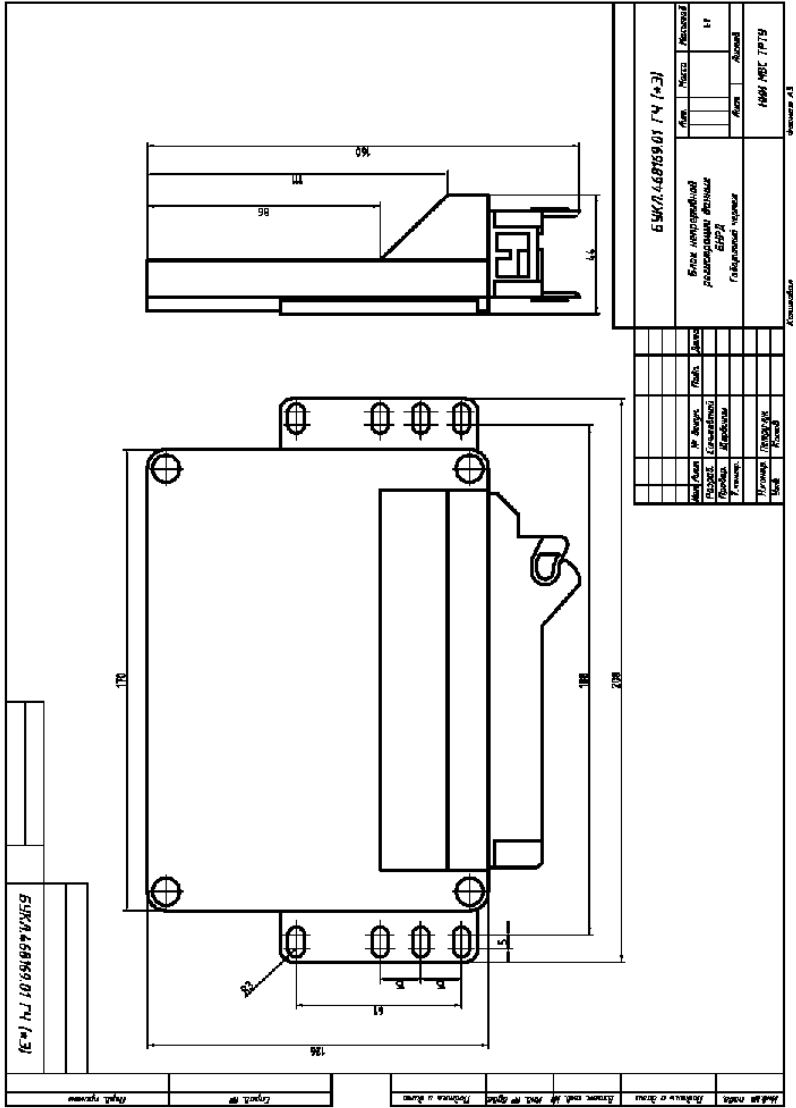


Рис. 3.19. Габаритный чертеж БНРД



Рис. 3.20. Внешний вид БНРД



Рис. 3.21. БНРД со снятой крышкой

Таблица 3.3

### Перечень каналов БНРД

Наименование	№ вывода разъема*	Описание	Кол-во
Токовые каналы AN2 – AN9, AN12–AN14	11,29,47,10, 46,9,44,7,25	Каналы измерения унифицированного токового сигнала 4...20 мА от датчиков (температуры, давления) с токовым выходом	9**
Потенциальные каналы AN0–AN1	48,11	Каналы измерения напряжения в диапазоне 0...29 В. Возможно подключение датчиков с выходным резистивным сигналом или потенциальным сигналом	2**
Дискретные каналы D0–D15	15,33,51,14, 32,50,13,31, 49,12,30,43 42,6,24,41	Каналы для подключения датчиков, представляющих собой ключ с двумя состояниями: замкнуто, разомкнуто	16
Цифровые каналы CAN1,CAN2	4,5,22,23	Каналы для подключения датчиков с цифровым выходом по протоколу CAN 2.0	2***

**Примечания:**

\* – разъем типа СНП –255-55-В-1;

\*\* – возможно перераспределение количественного соотношения между токовыми и потенциальными каналами по желанию заказчика. Общее число аналоговых каналов не должно превышать 11;

\*\*\* – к каждому каналу возможно подключение до 30 датчиков с цифровым выходом по мультиплексной шине CAN 2.0.

### 3.5.11. Основные технические характеристики ЭО СММ

Основные технические характеристики приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

#### Основные технические характеристики ЭО СММ

Параметр	Значение
Напряжение питания	8...30 В
Потребляемая мощность	не более 4 Вт
Кол-во аналоговых измерительных каналов	12 <sup>1</sup> (базовый вариант) 16 (вариант по требованию)
Кол-во дискретных измерительных каналов	17 <sup>2</sup>
Кол-во частотных измерительных каналов	2
Точность измерения	1%
Кол-во цифровых мультиплексных входов	2 <sup>3</sup>
Интерфейс цифровых входов	CAN 2.0 В
Коммуникационный интерфейс для связи с МРМО	RS-232 <sup>4</sup>
Объем энергонезависимой памяти	32 МБ (базовый вариант) 128 МБ (вариант по требованию)
Кол-во каналов управления	4 «нижних» ключа
Ток каналов управления	до 1А
Диапазон рабочих температур	от -40 до +85 °С
Диапазон температур хранения	от -50 до +125 °С
Габаритные размеры БНРД	170 x 160 x 44 мм
Масса БНРД	не более 700 г
Требования ПО ЭО СММ к МРМО	Celeron 1.7ГГц / RAM 128 / HDD 40Гб
Операционная система	Windows 98/2000/XP

<sup>1</sup> – К аналоговым каналам могут подключаться потенциальные, токовые, резистивные выходы датчиков. Конкретное число каналов каждого типа определяется заказчиком. Один из аналоговых измерительных каналов жестко связан с входом питания БНРД для контроля напряжения бортовой сети.

### 3.5. Описание экспериментального образца системы непрерывного мониторинга...

<sup>2</sup> – К дискретным каналам подключается сигнализаторное оборудование ТС (т.е. оборудование имеющее два фиксированных состояния – включено или выключено). На один из дискретных каналов обязательно заводится «появляющийся плюс» для фиксации включения ТС. Восемь младших дискретных каналов (0–7) могут использоваться для пульсирующих сигнализаторов (типа сигнализаторов поворота, стояночного тормоза и т.п.).

<sup>3</sup> – К каждому из мультиплексных цифровых входов могут подключаться несколько (до 30) цифровых датчиков.

<sup>4</sup> – В последующих реализациях планируется переход на более скоростной интерфейс USB 2.0, с обеспечением возможностей как «функции» (device) (подключение БНРД к ПЭВМ), так и «хоста» (master) (подключение к БНРД переносной flash-памяти).

Время автономной работы определяется объемом энергонезависимой памяти, временной дискретностью измерения каналов и насыщенностью СНМ измерительными каналами (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Дискретность записи	Объем памяти 32 МБайт		Объем памяти 128 МБайт	
	Вариант насыщ-ти I	Вариант насыщ-ти II	Вариант насыщ-ти I	Вариант насыщ-ти II
1 с	85 ч	250 ч	340 ч	1 000 ч
30 с	2500 ч	7500 ч	10 000 ч	30 000 ч
1 мин	5000 ч	15 000 ч	20 000 ч	60 000 ч

#### **Вариант насыщенности I:**

*Кол-во аналоговых каналов – 16*

*Кол-во частотных каналов – 2*

*Кол-во дискретных каналов – 16*

*Кол-во цифровых каналов – 10*

#### **Вариант насыщенности II:**

*Кол-во аналоговых каналов – 5*

*Кол-во частотных каналов – 2*

*Кол-во дискретных каналов – 16*

*Кол-во цифровых каналов – 10*

Для а/м **КАМАЗ 4326-15** с базовым вариантом БНРД (объем памяти 32 Мб) при условии, что запись в память производится 1 раз в 10 с при нормальном режиме функционирования и 1 раз в секунду при экстремальном режиме, а также экстремальный режим составляет не более 1/3 всего рабочего времени, максимальное время записи ориентировочно составляет **800 часов** непрерывной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое тахограф?
2. Как осуществляют расшифровку диаграммных дисков?
3. Каков состав диагностических стендов?
4. Охарактеризуйте аппаратуру регистрации параметров («черных ящиков»).
5. Что входит в систему мониторинга и управления транспортным средством с применением УКВ-связи?
6. Охарактеризуйте блоки непрерывной регистрации данных.



## 4. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

### 4.1. Штатные датчики отечественной автомобильной техники

Существующая в настоящее время бортовая датчиковая аппаратура, предназначенная для функционирования в составе отечественной автомобильной техники с указанием контролируемой физической величины, рабочего диапазона измеряемого параметра представлена в табл. 4.1. Следует отметить низкую точность штатных автомобильных датчиков (основная погрешность измерения от 5 до 20 % от верхнего предела измерения).

Таблица 4.1

#### Штатная датчиковая аппаратура, предназначенная для функционирования в составе отечественной автомобильной техники

Тип датчика (сигнализатора)	Рабочий диапазон датчика	Точка срабатывания сигнализатора
<i>Температура</i>		
ТМ111–14	–	50 ± 3 °С
11.3828	+7 – +33 °С	–
1307.3828	–35 – +55 °С	–
14.3828	–	40 ± 5 °С
141.3828	–	48 ± 5 °С
142.3828	–	42 ± 5 °С
2103.3828	+14 – +28 °С	–
1108.3842	–40 – +40 °С	–
1308.3842	0 – +5 °С	–
1332.3842	–10 – +50 °С	–
1342.3842	–10 – +50 °С	–
ТМ111–10	–	77 ± 3 °С
143.3828	–	68 ± 5 °С
1328.3842	–60 – +70 °С	–

Продолжение табл. 4.1

Тип датчика (сигнализатора)	Рабочий диапазон датчика	Точка срабатывания сигнализатора
<i>Температура</i>		
TM100	+40 – +120 °С	–
TM100-A	+40 – +120 °С	–
TM100-B	+40 – +120 °С	–
TM106-10	+40 – +130 °С	–
TM106	+40 – +130 °С	–
TM108	–	94 ± 4 °С
TM111	–	100 (–2/+4) °С
TM111-01	–	100 (–2/+4) °С
TM111-02	–	105 (–3/+4) °С
TM111-03	–	105 (–2/+4) °С
TM111-04	–	115 (–5/+3) °С
TM111-05	–	115 (–5/+3) °С
TM111-06	–	120 (–3/+4) °С
TM111-07	–	120 (–3/+4) °С
TM111-08	–	95 (–3/+4) °С
TM111-09	–	95 (–3/+4) °С
TM111-12	–	84 ± 4 °С
1602.3828	–	110 ± 7 °С
1702.3828	–	120 ± 5 °С
19.3828	–40 – +125 °С	–
2402.3828	+30 – +130 °С	–
2412.3828	+30 – +130 °С	–
2422.3828	+30 – +130 °С	–
2432.3828	+40 – +120 °С	–
2442.3828	+40 – +120 °С	–
66.3710	–	99 ± 2,5 °С
661.3710	–	99 ± 2,5 °С
ДТ1	–40 – +125 °С	–

Продолжение табл. 4.1

Тип датчика (сигнализатора)	Рабочий диапазон датчика	Точка срабатывания сигнализатора
<i>Температура</i>		
ДТ2	40 – +120 °С	–
ДТ3	20 – +120 °С	–
ДТ4	–	+98 ± 104 °С
23.3828	–40 – +150 °С	–
232.3828	–40 – +150 °С	–
233.3828	–40 – +150 °С	–
191.3847	–14 – +150 °С	–
23.3847	–50 – +140 °С	–
1802.3828	–	165 ± 5 °С
1202.3832	+80 – +200 °С	–
11.3844	–	170 ± 6 °С
1307.3828	–35 – +55 °С	–
19.3828	–40 – +125 °С	–
23.3828	–40 – +150 °С	–
232.3828	–40 – +150 °С	–
233.3828	–40 – +150 °С	–
1108.3842	–40 – +40 °С	–
1328.3842	–60 – +70 °С	–
1332.3842	–10 – +50 °С	–
1342.3842	–10 – +50 °С	–
191.3847	–14 – +150 °С	–
23.3847	–50 – +140 °С	–
ДТ1	–40 – +125 °С	–
<i>Давление</i>		
ММ5	0–0,6 МПа	0,2–0,6 МПа
ММ7	0–0,6 МПа	0,2–0,6 МПа
ММ10	0–0,5 МПа	0,1–0,5 МПа
ММ120Д-3810.600	–	0,2–0,6 МПа

Продолжение табл. 4.1

Тип датчика (сигнализатора)	Рабочий диапазон датчика	Точка срабатывания сигнализатора
<i>Давление</i>		
ММ125Д-3810.600	–	0,2–0,6 МПа
ММ125Д	–	0,1–0,5 МПа
2106.3829.010	0,2–0,6 МПа	0,2–0,6 МПа
2802.3829	0,1–0,5 МПа	0,1–0,5 МПа
ММ4	0–0,8 МПа	0,4–0,8 МПа
ММ6	0–0,8 МПа	0,4–0,8 МПа
ММ111В-3810.600	0–0,8 МПа	0,4–0,8 МПа
ММ111Д-3810.600	0–0,8 МПа	0,4–0,8 МПа
В10.3829.000ТУ	0–0,8 МПа	0,4–0,8 МПа
2602.3829	0–0,8 МПа	0,4–0,8 МПа
ММ106Б-3810.600	–	0,7–1,3 МПа
ММ126-3810.600	–	1,3–1,9 МПа
2812.3829	1,5–2,0 МПа	1,5–2,0 МПа
3602.3829	1,3–1,9 МПа	1,3–1,9 МПа
3702.3829	0,7–1,3 МПа	0,7–1,3 МПа
ММ3	0–6 МПа	–
ММ8	–	4,5–5,5 МПа
ММ9	0–5 МПа	4,5–5,5 МПа
ММ11	0–6 МПа	–
ММ124В-3810.600	–	4,5–5,5 МПа
ММ124Д-3810.600	–	4,5–5,5 МПа
ММ124Д	–	4,5–5,5 МПа
ММ128-3810.600	–	2,5–3,0 МПа
ММ358	0–6 МПа	–
23.3829	0–6 МПа	–
2702.3829	4,5–5,5 МПа	5,5–4,5 МПа
ММ1	0–10 МПа	–
ММ2	0–8 МПа	–

Окончание табл. 4.1

Тип датчика (сигнализатора)	Рабочий диапазон датчика	Точка срабатывания сигнализатора
<i>Давление</i>		
ММ129-3810.600	–	6,4–8,2 МПа
ММ355	0–10 МПа	–
ММ370	0–10 МПа	–
ММ393А	0–8 МПа	–
18.3829	0–10 МПа	–
3802.3829	6,5–7,5 МПа	7,5–6,5 МПа
3902.3829	0–10 МПа	–
11.3829	0–20 МПа	–
19.3829	0–15 МПа	–
16.3829	0–200 МПа	–
ММ100	–	0,2–0,05МПа
12.3814	10–100 МПа	–
45.3829	20–105 МПа	–
121.3814	80–160 МПа	–

#### **4.2. Дополнительная датчиковая аппаратура повышенной точности**

В работах [52, 53] приведены семейства микроэлектронных унифицированных аналоговых и частотных датчиков давления, температуры, частоты вращения, угловых и линейных перемещений, а также экспериментальные образцы цифровых датчиков физических величин, разработанных и изготовленных в технологическом центре микросистемной техники НИИ МВС ТРТУ (ныне НИИ МВС ЮФУ) и предназначенных для работы в системах непрерывной регистрации автотранспортных средств.

В результате применения новых технических решений, проведения ряда испытаний, в том числе и эксплуатационных, оптимизации конструктивно-технологических вариантов устройств, расширения номенклатуры в части цифровых датчиков, а также сферы их применения построены семейства

унифицированных модернизированных аналоговых, частотных и цифровых датчиков физических величин, представленных в настоящей работе.

Основные технические характеристики датчиковых устройств приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

**Основные технические характеристики семейства унифицированных датчиков физических величин, разработанных в ТЦ НИИ МВС ЮФУ**

№ п/п	Тип датчика	Ед-ца измерения	Диапазон измерения	Основная погрешность измерения	Выходной сигнал, мА	Чувствительный элемент	Разъем	Напряжение питания, В
<i>Аналоговые датчики</i>								
1	Датчик температуры жидкости (ДТЖ М-50/+125 Т)	°С	-50...+125	1%	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24
2	Датчик температуры жидкости (ДТЖ-50/+200ТМ)	°С	-50...+200	1%	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24
3	Датчик температуры газов (ДТГМ-50/+50Т)	°С	-50...+50	1%	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24
4	Датчик температуры газов (ДТГ М-50/ + 125 Т)	°С	-50...+125	1%	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24

4.2. Дополнительная датчиковая аппаратура повышенной точности

Продолжение табл. 4.2

№ п/п	Тип датчика	Ед-ца измерения	Диапазон измерения	Основная погрешность измерения	Выходной сигнал, мА	Чувствительный элемент	Разъем	Напряжение питания, В
<i>Аналоговые датчики</i>								
5	Датчик давления жидкости (ДИДЖ М1Т)	МПа	0 ÷ 0,1	1%	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24
6	Датчик давления жидкости (ДИДЖ М10Т)	МПа	0 ÷ 1	1%	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24 В
7	Датчик давления жидкости (ДИДЖ 100 МТ)	МПа	0 ÷ 10	1%	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24 В
8	Датчик давления жидкости (ДИДЖ 400 МТ)	МПа	0 ÷ 40	1 %	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24
9	Датчик давления газов (ДИДГ М10Т)	МПа	0 ÷ 1	1 %	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24

Продолжение табл. 4.2

№ п/п	Тип датчика	Ед-ца измерения	Диапазон измерения	Основная погрешность измерения	Выходной сигнал, МА	Чувствительный элемент	Разъем	Напряжение питания, В
<i>Аналоговые датчики</i>								
10	Датчик давления газов (ДИДГ 200 МТ)	МПа	0 ÷ 20	1 %	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24
11	Датчик разрежения (ДРГ М 0,34 Т)	мм*Нг	260÷760	2 %	ток 4-20	Кремниевый сенсор	Колодка 501203	12÷24
<i>Частотные датчики</i>								
12	Датчик частоты вращения (ДЧВП – 1000М)	мин <sup>-1</sup>	0 ÷ 1000	1 %	п-р-п-открытый коллектор I макс. 20	Индуктивный сенсор	Колодка 501203	12÷24
13	Датчик частоты вращения (ДЧВ–М 10000)	мин <sup>-1</sup>	0 ÷ 10000	1%	п-р-п-открытый коллектор, I макс. 20	Индуктивный сенсор	Колодка 501203	12÷24
<i>Цифровые датчики</i>								
14	Датчик температуры жидкости (ДТЖ–50/+125CAN)	°С	-50...+125	1 %	Интерфейс CAN 2.0В	Кремниевый сенсор	РС4ТВ	12÷24



4.2. Дополнительная датчиковая аппаратура повышенной точности

Продолжение табл. 4.2

№ п/п	Тип датчика	Ед-ца измерения	Диапазон измерения	Основная погрешность измерения	Выходной сигнал, мА	Чувствительный элемент	Разъем	Напряжение питания, В
<i>Цифровые датчики</i>								
15	Датчик температуры жидкости (ДТЖ -50/+150 CAN)	°С	-50...+150	1 %	Интерфейс CAN 2.0В	Кремниевый сенсор	PC4TB	12÷24
16	Датчик температуры газов (ДТГ -50/+50 CAN)	°С	-50...+50	1 %	Интерфейс CAN 2.0В	Кремниевый сенсор	PC4TB	12÷24
17	Датчик температуры газов (ДТГ -50/+125CAN)	°С	-50...+125	1 %	Интерфейс CAN 2.0В	Кремниевый сенсор	PC4TB	12÷24
18	Датчик давления жидкости (ДИДЖ1 CAN )	Мпа	0 ÷ 0,1	1 %	Интер-фейс CAN 2.0В	Кремниевый сенсор	PC4TB	12÷24
19	Датчик давления жидкости (ДИДЖ10 CAN)	МПа	0 ÷ 1	1 %	Интерфейс CAN 2.0В	Кремниевый сенсор	PC4TB	12÷24

Продолжение табл. 4.2

№ п/п	Тип датчика	Ед-ца измерения	Диапазон измерения	Основная погрешность измерения	Выходной сигнал, МА	Чувствительный элемент	Разъем	Напряжение питания, В
<i>Цифровые датчики</i>								
20	Датчик давления газов (ДИДГ 10 CAN)	МПа	0 ÷ 1	1%	Интерфейс CAN 2.0B	Кремниевый сенсор	PC4TB	12÷24
21	Датчик разрежения (ДРГ 0,34 CAN)	мм*Hg	260÷760	2 %	Интерфейс CAN 2.0B	Кремниевый сенсор	PC4TB	12÷24
22	Датчик угла поворота (ДУП – 180 CAN)	град. угл.	0÷180	2 %	Интерфейс CAN 2.0B	Интегральный сенсорный элемент	PC4TB	12÷24
23	Датчик линейного перемещения (ДЛП – 30 CAN)	мм	0 ÷ 30	2 %	Интерфейс CAN 2.0B	Интегральный сенсорный элемент	PC4TB	12÷24
24	Датчик линейного перемещения (ДЛП – 100 CAN)	мм	0 ÷ 100	2 %	Интерфейс CAN 2.0B	Интегральный сенсорный элемент	PC4TB	12÷24

Окончание табл. 4.2

№ п/п	Тип датчика	Ед-ца измерения	Диапазон измерения	Основная погрешность измерения	Выходной сигнал, мА	Чувствительный элемент	Разъем	Напряжение питания, В
<i>Цифровые датчики</i>								
25	Датчик расхода дизельного топлива (ДРТ-3/50 CAN)	л/ч	3 ÷ 50	3 %	Интер-фейс	Кремниевый сенсор	РС4ТВ	12÷24
26	Датчик расхода дизельного топлива (ДРТ-5/100 CAN)	л/ч	5 ÷ 100	3 %	Интер-фейс CAN 2.0В	Кремниевый сенсор	РС4ТВ	12÷24

**Примечание:**

1. Рабочий диапазон температур корпуса датчиков –50 ... +90 °С;
2. При всех внешних возмущающих факторах обеспечивается удвоенное значение величины основной погрешности.

Семейства датчиковых устройств, условно можно разделить по видам измеряемых физических величин, предназначенных для контроля температуры, давления, расхода топлива, параметров вращения и перемещения основных узлов и агрегатов контролируемых объектов, которые также могут быть классифицированы по следующим признакам:

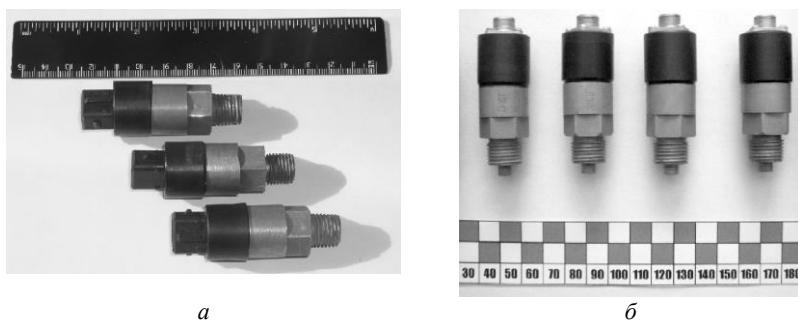
- технологический процесс изготовления сенсорного элемента;
- тип нормализованного выходного электрического сигнала датчика;
- назначение и условия эксплуатации.

В зависимости от особенностей технологического процесса изготовления сенсорных элементов представленные датчиковые устройства можно отнести к одной из двух основных групп.

В первую группу входят семейства унифицированных датчиков давления, температуры, расхода топлива и угла поворота.

Первичные преобразователи указанных датчиков, изготавливаются с использованием полупроводникового микроэлектронного технологического процесса или технологии построения микроэлектромеханических систем (МЭМС-технологии) и обладают всеми техническими и экономическими преимуществами устройств, изготавливаемых с помощью групповых методов обработки [109, 110].

Семейство датчиков давления и разрежения по типу выходного сигнала подразделяются на два обширных подсемейства – датчики давления (разрежения) с аналоговым (токовым) выходным сигналом (рис.4.1, *а*) и датчики давления (разрежения) с цифровым выходным сигналом (интерфейс CAN 2.0) (рис.4.1, *б*).



**Рис. 4.1.** Семейство датчиков давления с аналоговым (*а*) и цифровым (*б*) выходными сигналами для функционирования в составе СНМ автомобильной техники (АТ)

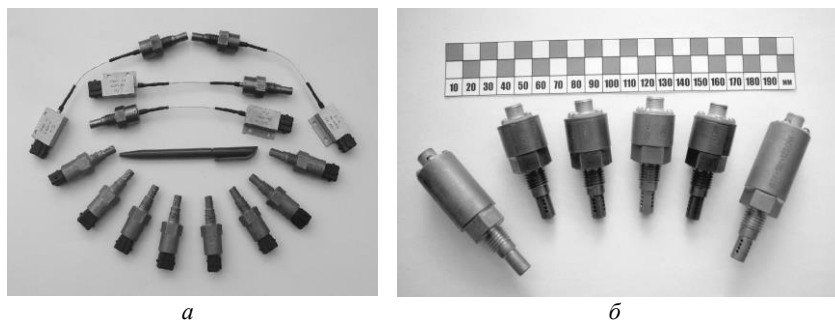
Датчики давления (разрежения) построены на базе интегральных кремниевых тензопреобразователей давления, разработанных и изготовленных в технологическом центре микросистемной техники НИИ МВС ЮФУ. Каждый интегральный кремниевый тензопреобразователь давления имеет мембрану, изготовленную с помощью технологии МЭМС-профилирования размером  $1 \times 1 \text{ мм}^2$ , толщина которой варьируется в зависимости от диапазона измеряемых давлений для построения того или иного типа датчика.

Собственная резонансная частота колебаний системы мембрана-основание, вследствие особенностей ее формирования и геометрических размеров составляет десятки кГц и обычно многократно превышает частотный диапазон вибраций, возникающих в результате функционирования

контролируемого объекта. Сенсорные элементы давления содержат в интегральном исполнении элементы, чувствительные к деформации, элементы коррекции выходного начального электрического сигнала при отсутствии давления и элементы температурной коррекции выходного сигнала.

Жесткие условия эксплуатации датчиков давления, обусловленные их назначением и местом установки на объекте, а также заданная точность измерения при совокупности воздействия внешних возмущающих факторов накладывают высокие требования к методам обеспечения компенсации температурной погрешности датчиков, их механической виброударопрочности и устойчивости, а также временной стабильности показаний на всех этапах построения датчиков от проектирования топологии кристалла тензопреобразователей до реализации схемотехнических решений.

Семейство датчиков температуры по типу выходного сигнала также подразделяется на два подсемейства – датчики температуры с аналоговым (токовым) выходным сигналом (рис. 4.2, *а*) и датчики температуры с цифровым выходным сигналом (интерфейс CAN 2.0) (рис. 4.2, *б*).



**Рис. 4.2.** Семейство датчиков температуры с аналоговым (*а*) и цифровым (*б*) выходными сигналами для функционирования в составе СНМ АТ

Датчики температуры построены на базе интегральных кремниевых преобразователей температуры, обеспечивающих приведенные в табл. 4.2 рабочие диапазоны температур и точностные характеристики.

Все аналоговые датчики, приведенные в табл. 4.2, поддерживают промышленный двухпроводный интерфейс типа «токовая петля» широкораспространенный в системах сбора данных, промышленной автоматике,

проводных системах дистанционного управления и многих других областях. Двухпроводное включение датчика предусматривает подачу по одной паре проводов напряжения питания и информационных сигналов. Датчики имеют защиту от падения напряжения на длинных соединительных линиях и шумов от промышленных моторов, реле, стартеров, коммутационного оборудования, трансформаторов и других промышленных установок.

Цифровые датчики, представленные в табл. 4.2, имеют четырехпроводное подключение к сети и обеспечивают обмен данными с устройствами сбора информации, согласно протоколу CAN 2.0. Следует отметить, что CAN-протокол обладает множеством преимуществ, среди которых основным является высокая степень надежности и «живучести» сети, благодаря развитым механизмам обнаружения ошибок, повтору ошибочных сообщений, самоизоляции неисправных узлов, устойчивости к электромагнитным помехам.

К группе цифровых датчиков относятся также датчики измерения угла поворота, использующие микроэлектронный сенсорный элемент, принцип измерения которого основан на гигантском магниторезистивном (ГМР) эффекте (рис. 4.3), а также датчики линейных перемещений (рис. 4.4), построенные на базе индуктивных сенсорных элементов. Указанные датчики обеспечивают измерение угловых и линейных перемещений контролируемого объекта с выдачей информационного сигнала о величине перемещения непосредственно в угловых градусах или миллиметрах.



**Рис. 4.3.** Датчики угла поворота с цифровым выходным сигналом



**Рис. 4.4.** Семейство датчиков линейных перемещений с цифровым выходным сигналом

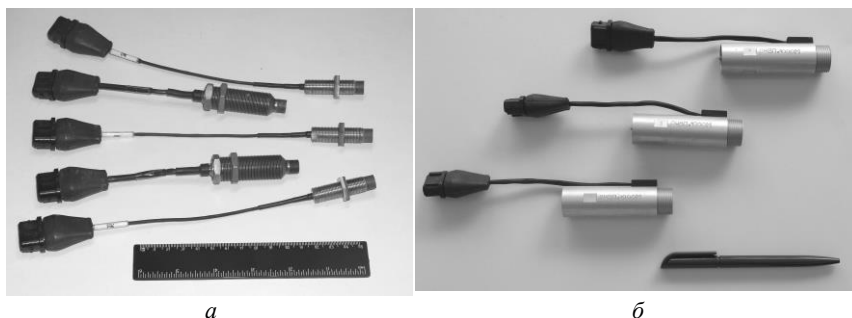
В основе принципа действия цифровых датчиков расхода дизельного топлива (рис. 4.5) лежит разновидность термоанемометрического метода измерения скорости потока (расхода) контролируемой среды. Данный метод [111, 112] в общем случае заключается в импульсном перегреве кристалла интегрального кремниевого микротермоанемометра относительно потока до температур  $\sim 10 \dots 40$  °С и измерении длительности остывания кристалла до заданной температуры (превышающей или равной температуре потока) в зависимости от расхода (скорости потока) топлива.



**Рис. 4.5.** Семейство датчиков расхода топлива с цифровым выходным сигналом для функционирования в составе СНМ АТ

Все цифровые датчики, приведенные в табл. 4.2, можно отнести к классу мультисенсорных интеллектуальных датчиков, так как они производят окончательную программную обработку и коррекцию сигналов первичных преобразователей в зависимости от условий окружающей или рабочей среды (например, температуры).

К группе датчиков, в качестве первичных преобразователей которых используются индуктивные сенсорные элементы, относится семейство частотных датчиков измерения частоты вращения. Датчики измерения частоты вращения ДЧВ-М10000 (рис. 4.6, а), ДЧВП-1000М (рис. 4.6, б) способны функционировать в условиях повышенных температур (до 125 °С) и предназначены для измерения частоты вращения в диапазонах  $0 \dots 10000$  об/мин и  $0 \dots 1000$  об/мин соответственно с формированием от одного до десяти импульсов выходного сигнала на один оборот. Кроме того, датчик ДЧВП-1000М является проходным и обеспечивает возможность механического соединения входного и выходного концов вала датчика с задающей вращение и контролирующей аппаратурой.



**Рис. 4.6.** Семейство датчиков частоты вращения с частотным выходным сигналом для функционирования в составе СММ АТ

Необходимо отметить также исполнение корпусов и соединительных разъемов датчиков, приведенных в табл. 4.2, которые обеспечивают функционирование датчиковых устройств и передачу информационного сигнала к системе сбора и обработки данных при воздействии повышенной и пониженной температуры окружающей среды, механической вибрации, одиночных и многократных ударов.

### **Контрольные вопросы**

1. Охарактеризуйте штатную датчиковую аппаратуру, предназначенную для работы в составе отечественных автомобилей.
2. Что относится к дополнительной датчиковой аппаратуре повышенной точности.
3. Охарактеризуйте датчики температуры.
4. Охарактеризуйте частотные датчики.



## **5. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВЫХ УСТРОЙСТВ ПОВЫШЕННОГО КЛАССА ТОЧНОСТИ ДЛЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ, РАЗРАБОТАННЫХ И ИЗГОТОВЛЕННЫХ В НИИ МВС ЮФУ**

Номенклатура датчиковых устройств, для бортовых систем непрерывного мониторинга объектов транспортной техники определяется следующими факторами:

- необходимостью контроля того или иного параметра для построения оптимального алгоритма определения технического состояния объекта;
- соображениями унификации датчиковых устройств по габаритно-установочным параметрам, типу выходного сигнала и (или) протоколу обмена данными в рамках единой мультиплексной бортовой сети;
- возможностью съема физического воздействия (насколько тот или иной узел, или его параметры подлежат контролю с помощью разработанных датчиковых устройств);
- видом и величиной контролируемого параметра.

Датчики, разработанные в НИИ МВС ЮФУ, представляют семейства диагностической датчиковой аппаратуры с унифицированными выходными сигналами. При этом разработаны два семейства датчиковой аппаратуры принципиально отличающиеся по типу унификации выходного сигнала:

- семейство малогабаритной датчиковой аппаратуры с токовым выходным сигналом;
- семейство малогабаритной датчиковой аппаратуры с цифровым выходным сигналом (CAN 2.0).

Необходимо указать, что принцип унификации присоединительных размеров сохраняется в рамках каждого из представленных семейств датчиковой аппаратуры. Этот принцип, прежде всего, заключается во взаимозаменяемости датчиковых устройств в части присоединительных размеров (на место установки токового датчика разработанного НИИ МВС ЮФУ

может быть установлен датчик с цифровым выходным сигналом без каких-либо дополнительных доработок).

С целью демонстрации возможности построения единой мультиплексной бортовой сети, на базе датчиковой аппаратуры нового уровня точности и надежности, исследования особенностей построения алгоритмов диагностики агрегатов и механизмов автомобильной техники (АТ), семейства датчиков проходили дорожные испытания на реальных объектах транспортной техники.

К вопросу замены штатных датчиков на разработанные в НИИ МВС ЮФУ следует указать на основные пути решения этой задачи:

- первый путь замены штатной датчиковой аппаратуры – полная замена на датчики, разработанные в НИИ МВС ЮФУ;
- второй путь замены штатной датчиковой аппаратуры – частичная замена бортовой датчиковой аппаратуры в части датчиков, участвующих в алгоритме диагностики транспортного средства, а также контролирующих критичные параметры и соответственно, реализующих повышенную точность и надежность функционирования.

Способы замены штатной датчиковой аппаратуры принципиально заключаются в следующей последовательности действий:

- замена штатной бортовой проводки, состоящей из кабелей питания и сигнальных проводников на проводку, разработанную и изготовленную в НИИ МВС ЮФУ;
- снятие комплекта штатной бортовой датчиковой аппаратуры с объектов АТ;
- установка на объекты АТ (если требуется) переходников – механических модулей, предназначенных для реализации возможности присоединения того или иного датчика к контролируемому узлу или агрегату АТ, а также повышения технологичности и удобства подключения электрической коммутации при монтаже датчика на борту АТ. Прежде всего, наличие подобных модулей обусловлено присутствием в агрегатах автомобилей посадочных резьбовых соединений для датчиков, построенных в дюймовой системе измерения, что противоречит принципу унификации и применению распространенной на территории РФ метрической системы измерений. Необходимо указать, что все присоединительные резьбовые соединения датчиков, имеют размерности метрической системы измерений;

– установка на объекты АТ датчиковых устройств, разработанных и изготовленных в НИИ МВС ЮФУ.

### 5.1. Семейство дополнительной диагностической датчиковой аппаратуры с унифицированным токовым выходным сигналом

Датчикам присвоены условные обозначения (шифры), которые состоят из следующих классификационных признаков.

Семейство унифицированных датчиков температуры с токовым выходным сигналом:

ДТЖ	М	-50	/	+125	T
ДТГ	М	-50	/	+125	T
Тип датчика					
Модификация разработки					
Минимальная измеряемая температура в градусах Цельсия					
Максимальная измеряемая температура в градусах Цельсия					
Тип выходного сигнала (токовый)					

ДТГ – датчик температуры газов;

ДТЖ – датчик температуры жидкости.

Семейство унифицированных датчиков давления с токовым выходным сигналом:

ДИДЖ	М	1	T
ДИДЖ	М	10	T
ДИДГ	М	10	T
ДРГ	М	0,34	T
Тип датчика			
Модификация разработки			
Максимальное рабочее давление, (разрежение) атм. (кгс/см <sup>2</sup> )			
Тип выходного сигнала (токовый)			

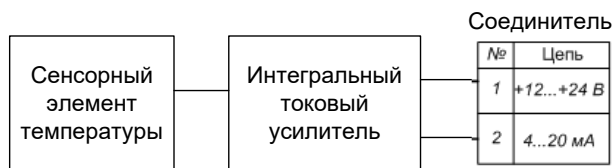
ДИДЖ – датчик избыточного давления жидкости;

ДИДГ – датчик избыточного давления газов;

ДРГ – датчик разрежения газов.

### 5.1.1. Датчики температуры с токовым выходным сигналом

В отличие от освоенных промышленностью датчиков температуры с токовым выходным сигналом, датчики температуры жидкости ДТЖ М –50/+125Т, ДТГ М –50/+125Т, разработанные в НИИ МВС ЮФУ, имеют минимизированные габаритные размеры, оптимизированную конструкцию сенсорного модуля и усилителя тока. При построении усилителя тока использована микросхема интегрального токового усилителя. Данный интегральный усилитель преобразует изменение сопротивления термочувствительного элемента в токовый сигнал 4...20 мА и позволяет значительно сократить число дискретных элементов в схеме, повысить надежность, линейность, точность, уменьшить габариты и вес датчика. При применении полупроводникового термочувствительного элемента микросхема позволяет скомпенсировать параболическую нелинейность введением в схему всего одного внешнего резистора линеаризации. Функциональная схема датчиков температуры с токовым выходным сигналом (ДТЖ М –50/+125Т, ДТГ М –50/+125Т) приведена на рис. 5.1.



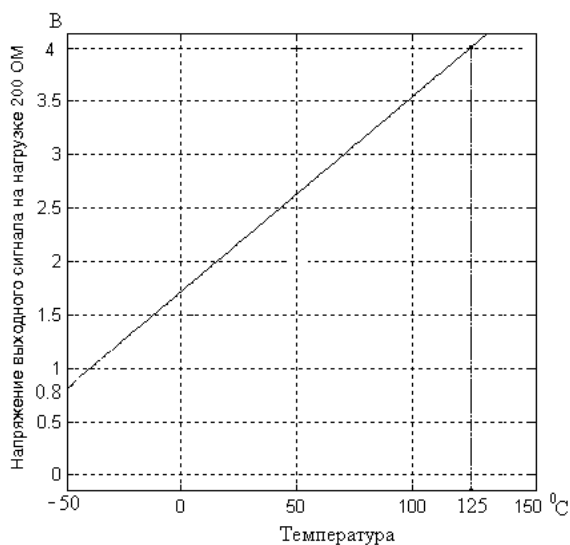
**Рис. 5.1.** Функциональная схема датчиков температуры с токовым выходным сигналом

Калибровка сводится к подбору коэффициента усиления токового усилителя с помощью резистора обратной связи. Номинал этого сопротивления зависит от настраиваемого рабочего диапазона температур того или иного типа датчика температуры, путем подбора угла наклона его рабочей характеристики для нагрузочного резистора номиналом 200 Ом.

Токовый усилитель содержит внешний транзистор, позволяющий создать режим работы усилителя, и обеспечивает высокую точность

преобразования величины измеряемой температуры в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА. Входные цепи датчика содержат диод, защищающий схему от неправильного подключения полярности напряжения питания.

Характеристики преобразования температуры в токовый выходной сигнал для датчиков температуры типа ДТЖ М –50/+125 Т, ДТГ М –50/+125 Т представлены на рис. 5.2.



**Рис. 5.2.** Рабочие характеристики датчиков температуры с токовым выходным сигналом типа ДТЖ М –50/+125Т, ДТГ М –50/+125Т

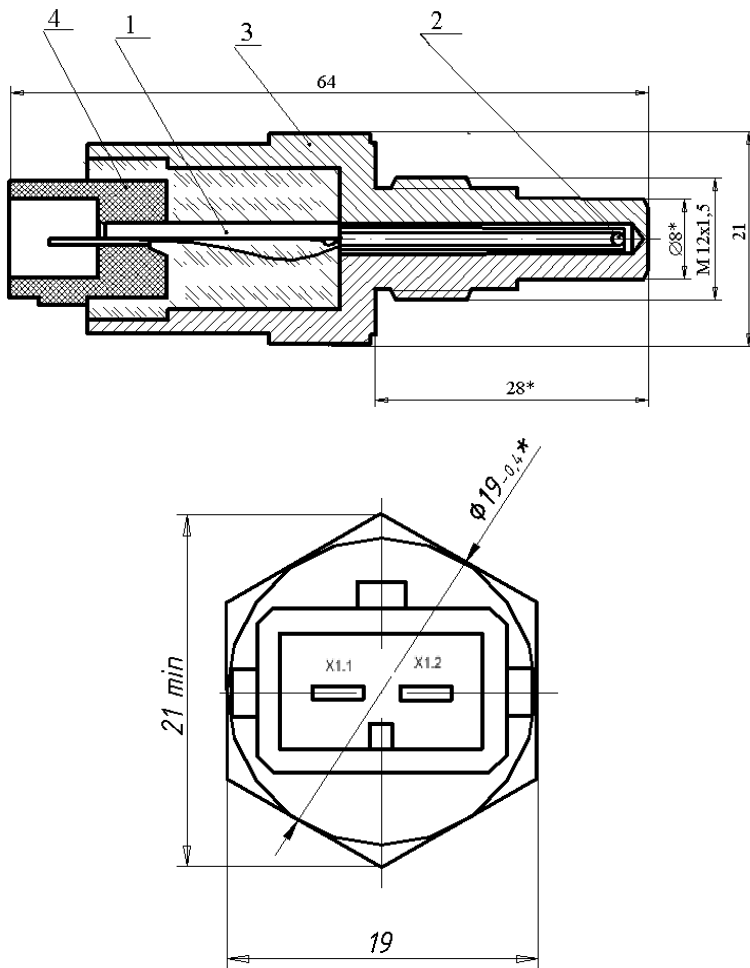
Интегральный токовый усилитель обеспечивает питание током термочувствительный сенсорный элемент датчика и функционирует как измерительный усилитель, с подавлением синфазного сигнала и сглаживанием пульсаций до 110 дБ, а также позволяет подключать низкоомную нагрузку в 200 Ом, что значительно снижает уровень бортовых помех на входе систем контроля и управления, с которыми работают датчики температуры.

Напряжение питания, подаваемое к датчику, может меняться от 7,5 В до 36 В без ухудшения его рабочих характеристик.

Разработанное семейство электронных датчиков температуры имеет двухпроводное подключение к внешним системам. Показания датчиков не

зависят от длины соединительных проводов и колебаний напряжения питания бортовой сети по ГОСТ 3940-84.

Конструкция датчика температуры жидкости показана на рис. 5.3.



**Рис. 5.3.** Конструкция датчика температуры жидкости ДТЖ М- 50/+125Т (ДТГ М -50/+125 Т): 1 – токовый усилитель; 2 – сенсорный модуль; 3 – корпус датчика; 4 – автомобильный соединитель

Конструкция датчика температуры газа соответствует рис. 5.3 с одним отличием – теплоприемник датчика имеет перфорацию для повышения скорости реакции сенсорного элемента на изменение температуры контролируемой среды вследствие проникновения рабочего газа непосредственно к сенсорному модулю. Корпус датчика выполнен из латуни марки ЛС-59-1. Автомобильный соединитель типа ОНП-3Н-52М-2-40 герметично залит эпоксидным компаундом со стороны верхнего торца датчика.

Подключение подводящих проводов к датчику осуществляется с помощью ответной части соединителя ОНП 3Н-97-2Р.

Основные технические характеристики датчиков температуры ДТЖ М –50/+125Т, ДТГ М –50/+125Т приведены в табл. 4.2.

Схема подключения датчика температуры ДТЖ М –50/+125Т (ДТГ М –50/+125Т) приведена на рис. 5.4.

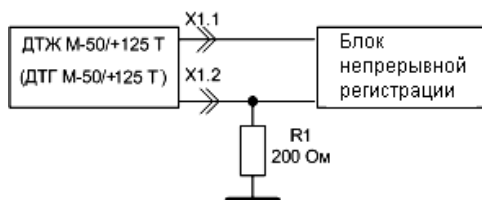


Рис. 5.4. Схема подключения датчика температуры ДТЖ М – 50/+125Т (ДТГ М –50/+125Т)

### 5.1.2. Датчики давления (разрежения) с токовым выходным сигналом

В качестве чувствительного элемента в датчиках относительного давления используется интегральный преобразователь давления, разработанный и изготовленный в НИИ МВС ЮФУ, представляющий сбалансированный тензометрический мост на кремниевой мембране.

В отличие от освоенных промышленностью датчиков давления (разрежения) с токовым выходным сигналом датчики избыточного давления жидкости ДИДЖ М 1Т, ДИДЖ М 10Т датчики избыточного давления газа ДИДГ М 10Т и датчики разрежения газа ДРГ М 0,34Т, разработанные в НИИ МВС ЮФУ, имеют минимизированные габаритные размеры корпуса и интегрального преобразователя давления (сенсорного элемента), оптимизированную конструкцию сенсорного модуля и усилителя тока.

В качестве токового усилителя для мостовой схемы в датчике относительного давления применяется микросхема интегрального токового усилителя. На рис. 5.5 приведена функциональная схема подключения тензометрического моста к интегральному токовому усилителю.

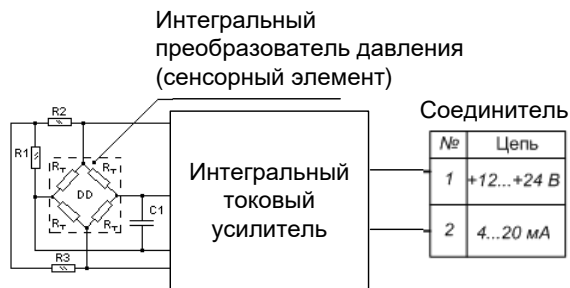


Рис. 5.5. Функциональная схема датчиков давления (разрежения)

Интегральный токовый усилитель обеспечивает питание тензомоста, усиливает сигнал разбаланса и формирует выходной токовый сигнал, при необходимости устраняя нелинейность интегрального преобразователя.

Применение интегрального токового усилителя позволяет максимально уменьшить размер печатной платы за счет сокращения количества навесных элементов и улучшить массогабаритные параметры по сравнению с аналогичными датчиками давления, освоенными промышленностью.

Интегральный токовый усилитель – двухпроводной усилитель тока 4...20 мА, разработанный специально для мостовых схем. Эта микросхема обладает теми же достоинствами что и микросхема интегрального токового усилителя датчика температуры, предназначенная для использования в резистивных схемах и описанная в предыдущем разделе.

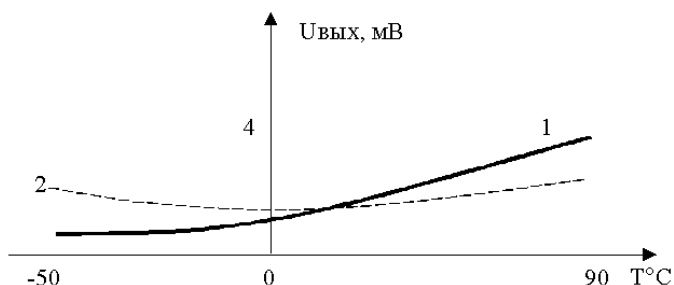
Датчики избыточного давления для диапазонов 0...1 кгс/см<sup>2</sup>, 0...10 кгс/см<sup>2</sup> и разрежения 0...0,34 кгс/см<sup>2</sup> выполнены в унифицированных корпусах, за исключением параметров присоединительной резьбы. У корпусов датчиков ДИДЖ М 1Т, ДИДЖ М 10Т, ДРГ М 0,34Т присоединительная резьба М14х1,5. У датчика ДИДГ М 10Т присоединительная резьба М16х1,5.

Надежность посадки модуля чувствительного элемента при опрессовке обеспечивается V-образной проточкой в корпусе, в которую устанавливается масло-бензостойкое уплотнительное кольцо.



Модуль чувствительного элемента прижимается специальной гайкой М22х1 и фиксируется контргайкой М22х1.

При изготовлении модуля чувствительного элемента применяются материалы, близкие по коэффициенту температурного расширения: кремний, у которого температурный коэффициент расширения (ТКР) равен  $42 \cdot 10^{-7}$ , стекло марки К-8 и титан марки ВТ1-0, у которых ТКР близкий к значению  $42 \cdot 10^{-7}$ , что позволяет получить температурный дрейф выходного сигнала тензоэлемента в рабочем диапазоне температур, представленный на графике рис. 5.6.



**Рис. 5.6.** Температурный дрейф выходного сигнала мостовой схемы тензочувствительного сенсорного элемента: 1 – исходная характеристика; 2 – характеристика, после введения температурной обратной связи

Для уменьшения температурного дрейфа сенсорного элемента (интегрального преобразователя) в микросхеме XTR106 предусмотрена возможность введения температурной обратной связи, позволяющей изменить наклон кривой температурного дрейфа, как показано на рис. 5.6 (характеристики 1 и 2 соответственно).

Конструкция интегрального преобразователя приведена на рис. 5.7.

Толщина мембраны М чувствительного элемента выбирается из расчета величины действующего давления с учетом запаса прочности от перегрузки, а также величины выходного сигнала при полной шкале не менее 30 мВ.

Зависимости изменения напряжения на нагрузочном резисторе при воздействии рабочего давления или разрежения для датчиков ДИДЖ М 1Т, ДИДЖ М 10Т (ДИДГ М 10Т) и ДРГ М 0,34Т приведены на рис. 5.8, а и б соответственно.

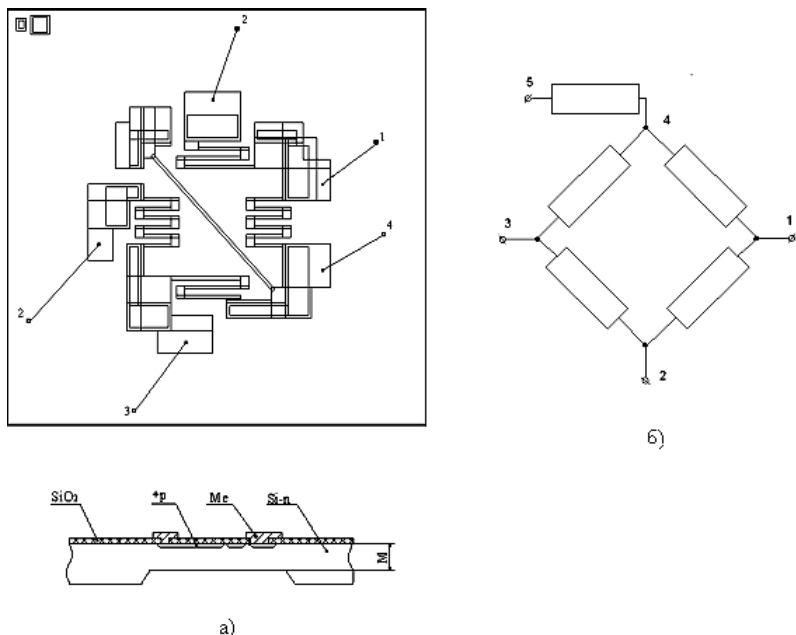


Рис. 5.7. Конструкция интегрального преобразователя давления (а) и мостовая схема включения тензорезисторов (б)

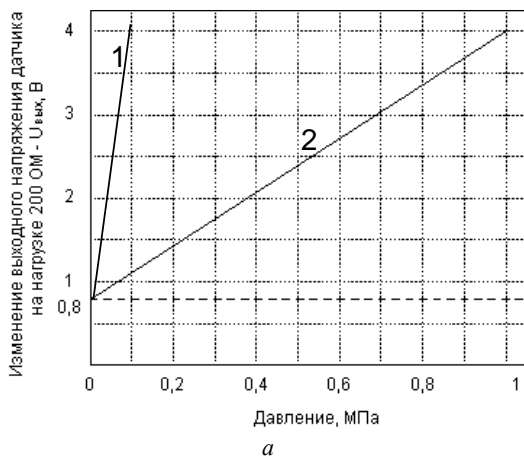


Рис. 5.8. Нагрузочные характеристики датчиков давления а – (1- ДИДЖ М 1Т, 2-ДИДЖ М 10Т, ДИДГ М 10Т) и разрезания б – ДРГ М 0,34Т)

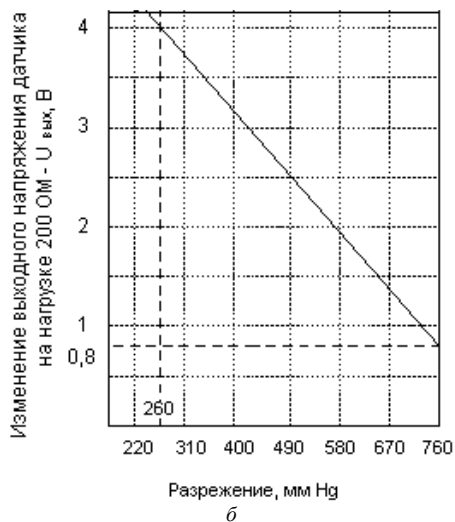


Рис. 5.8. Окончание

Нумерация контактов разъемного соединителя датчиков давления (разрежения) и схема их подключения приведены на рис. 5.9, а и б соответственно.

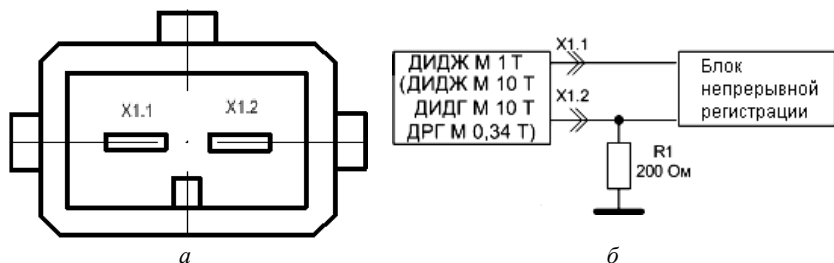


Рис. 5.9. Нумерация контактов разъемного соединителя (вилка) (а) и схема подключения (б) датчиков давления (разрежения)

Следует указать, что используемые материалы и технологический процесс изготовления датчиков для контроля давления жидкости и газа полностью идентичны, поэтому возможно применение указанных типов датчиков при измерении как жидких (например, моторное масло), так и газообразных сред без изменения их эксплуатационных характеристик (при использовании в рамках диапазона рабочих давлений).

## 5.2. Диагностическая датчиковая аппаратура с унифицированным частотным выходным сигналом

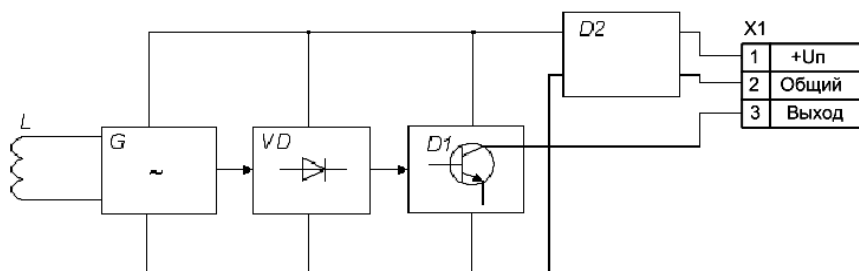
Датчики частоты вращения:

Датчики частоты вращения:

ДЧВ	М	-	10000
Тип датчика			
Модификация разработки			
Максимальная измеряемая частота вращения, об/мин			

ДЧВ – датчик частоты вращения.

Датчик измерения частоты вращения металлических деталей и узлов ДЧВ М-10000 разработан на основе бесконтактного токовихревого принципа. Структурная схема датчика измерения частоты вращения приведена на рис. 5.10. В качестве сенсорного элемента датчика используется катушка индуктивности (L) специальной формы, включенная в цепь автогенератора (G) по схеме “емкостная трехточка”. Сигнал автогенератора изменяет амплитуду выходного сигнала при изменении величины зазора между катушкой сенсора и металлом детали или узла, детектируется (VD) и подается на один из входов порогового элемента (компаратора D1). На второй вход компаратора подается опорное напряжение, величина которого определяет диапазон зазора срабатывания датчика и скважность выходных импульсов.



**Рис. 5.10.** Функциональная схема датчиков измерения частоты вращения ДЧВ М – 10000: L – катушка датчика; G – автогенератор; VD – амплитудный детектор; D1 – компаратор; D2 – стабилизатор напряжения

Встроенный внутренний стабилизатор напряжения (D2), питающий схему датчика стабильным напряжением  $9 \pm 0,1$  В, позволяет использовать датчик при колебаниях бортовой сети от 9,5 до 30 В с сохранением параметров выходного сигнала, а использование компаратора с выходным каскадом “п–р–п–ОК” позволяет получать сигнал на нагрузке амплитудой до 30 В и токе до 20 мА, при этом обеспечивается повышенная помехозащищенность и передача сигнала по неэкранированным проводам, длиной до 10 м и более.

Схемное решение компенсации температурного дрейфа позволяет расширить диапазон рабочих температур датчика от  $-50$  °С до  $+125$  °С, а применение материалов, клеев и герметизирующих компаундов обеспечивают работу датчика в условиях повышенной влажности, в бензине, масле и других органических средах, а также в агрессивных средах с  $10 \geq \text{pH} \geq 4$ .

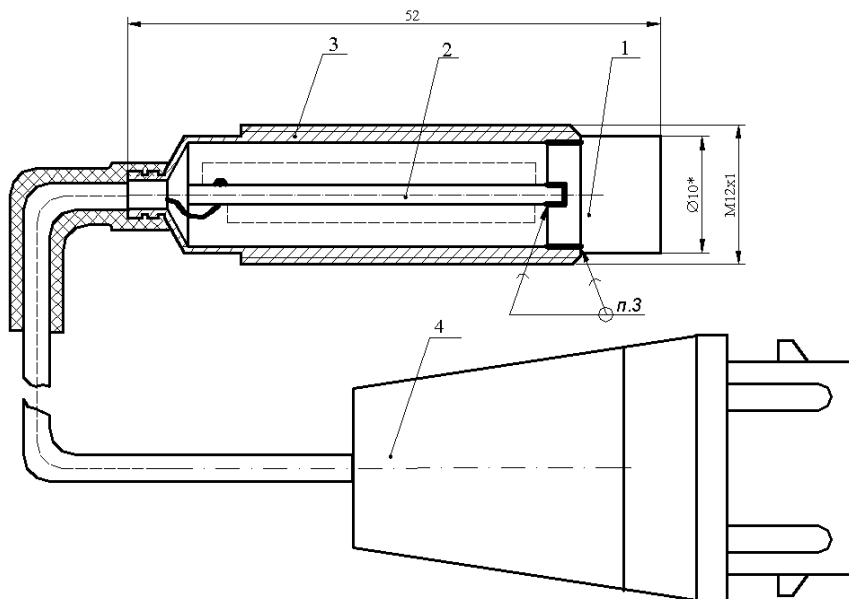
Электронная схема датчика собрана на одной плате с применением SMD-элементов, что позволило разместить её в едином корпусе вместе с сенсором. Корпус имеет стандартную резьбу М12х1, герметичен, а съем выходного сигнала и питание датчика осуществляются через соединитель типа ОНП-311-97-3В38 с КОЖ.001 (вилка) с ответной частью типа ОНП-311-97-3Р38 с КОЖ.001 (розетка) производства ОАО завод «Атлант», г. Изобильный, Ставропольский край.

В отличие от освоенных промышленностью и ранее разработанных в НИИ МВС ЮФУ датчиков частоты вращения (например, ДЧВ-1000М), датчики ДЧВ М-1000 имеют минимизированные габаритные размеры корпуса, оптимизированную конструкцию сенсорного модуля и преобразователя.

Диапазон измеряемых датчиком ДЧВ-10000М частот вращения составляет  $0 \div 10000$  об/мин. При контроле вращения шестерни с числом зубьев до 10 за один оборот на выходе датчика образуется 10 импульсов. Аналогичные датчики ВБ12-Р18К2 (УРАЛ, КАМАЗ); S118-C5NPN NOK (STANDARD EMBEDDABLE); BOSCH 0,261Z10001 имеют в настоящее время более узкий рабочий частотный диапазон и температурные условия эксплуатации.

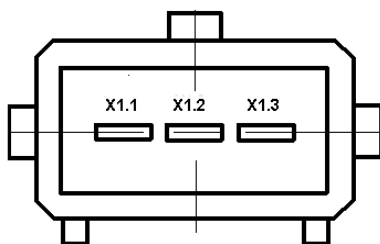
Используемые в датчике токовихревой принцип и схемные решения обеспечивают, в отличие от выпускаемых в настоящее время индуктивных и магнитоэлектрических датчиков скорости, постоянство величины выходного сигнала при любых скоростях автомобиля, в том числе и от нуля.

Конструктивное исполнение датчика частоты вращения ДЧВ М-10 000 показано на рис. 5.11.



**Рис. 5.11.** Конструкция датчика частоты вращения ДЧВ М-10000: 1 – катушка датчика; 2 – модуль преобразователя; 3 – корпус; 4 – соединитель

Нумерация контактов разъемного соединителя датчика частоты вращения ДЧВ М-10 000 (в соответствии с электрической принципиальной схемой и функциональной схемой, приведенной на рис. 5.10) приведена на рис. 5.12.



**Рис. 5.12.** Нумерация контактов разъемного соединителя датчика частоты вращения ДЧВ М-10000 (вилка)

### 5.3. Диагностическая датчиковая аппаратура с унифицированным цифровым выходным сигналом

Семейство дополнительной диагностической аппаратуры с унифицированным цифровым выходным сигналом, разработанное в НИИ МВС ЮФУ, включает датчики температуры, датчики давления (разрежения), датчики угла поворота и датчики расхода дизельного топлива.

Семейство унифицированных датчиков температуры с цифровым выходным сигналом состоит из следующих типопредставителей:

ДТЖ	-50 / +125	CAN
ДТГ	-50 / +125	CAN
ДТГ	-50 / +150	CAN
ДТГ	-50 / +50	CAN
Тип датчика		
Минимальная измеряемая температура в градусах Цельсия		
Максимальная измеряемая температура в градусах Цельсия		
Тип протокола обмена данными (вых. сигнал)		

ДТГ – датчик температуры газов;

ДТЖ – датчик температуры жидкости.

Семейство унифицированных датчиков давления с цифровым выходным сигналом:

ДИДЖ	1	CAN
ДИДЖ	10	CAN
ДИДГ	10	CAN
ДРГ	0,34	CAN
Тип датчика		
Максимальное рабочее давление, (разрежение) атм. ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ )		
Тип выходного сигнала (токовый)		

ДИДГ – датчик избыточного давления газов;

ДИДЖ – датчик избыточного давления жидкости;

ДРГ – датчик разрежения газов.

Датчики угла поворота с цифровым выходным сигналом:

	ДУП	-	180	CAN
Тип датчика				
Максимальный измеряемый угол поворота, °				
Протокол обмена данными (CAN 2.0)				

ДУП – датчик угла поворота.

Семейство датчиков расхода дизельного топлива с цифровым выходным сигналом:

	Д Р Т	-	0 / 100	CAN
	Д Р Т	-	5 / 150	CAN
Тип датчика				
Нижнее значение диапазона измеряемых расходов, л/ч				
Верхнее значение диапазона измеряемых расходов, л/ч				
Протокол обмена данными				

ДРТ – датчик расхода дизельного топлива

### 5.3.1. Датчики температуры с цифровым выходным сигналом

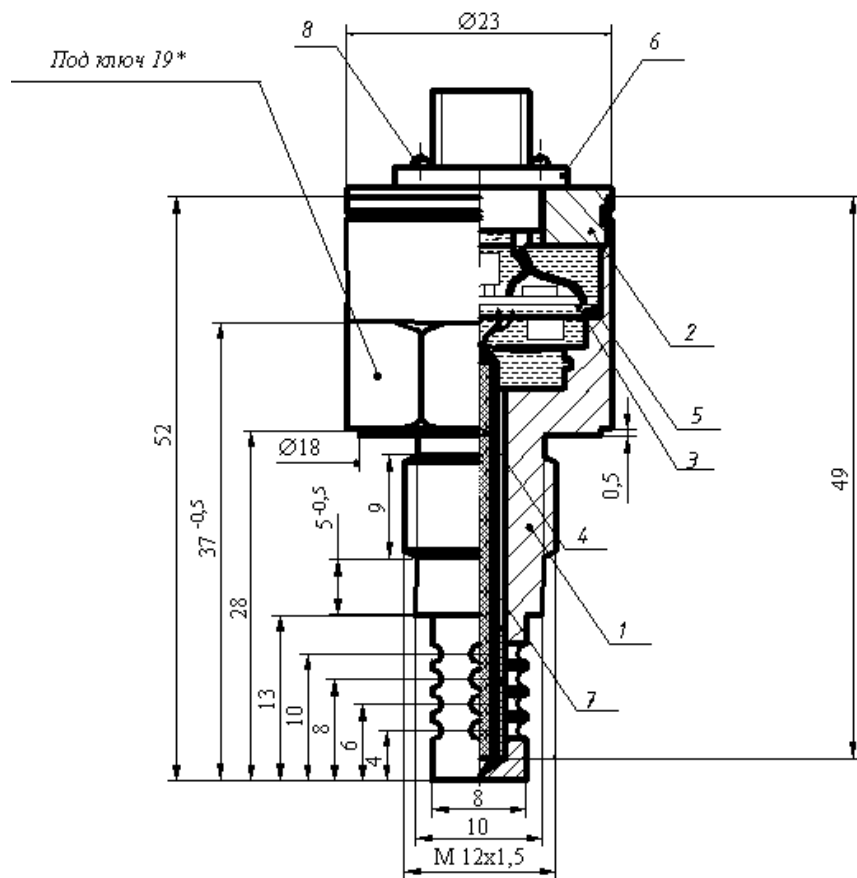
Конструктивное исполнение датчиков температуры с цифровым выходным сигналом представлено на рис. 5.13 на примере датчика температуры газа. Конструкция датчиков температуры жидкости аналогична за исключением отсутствия перфорации в теплоприемнике корпуса датчика.

Принцип действия датчика может быть пояснен с помощью функциональной схемы, представленной на рис. 5.14.

Датчик содержит один канал измерения температуры. Физическое воздействие – температура, преобразуется в аналоговый электрический сигнал (напряжение на выходе интегрального преобразователя температуры),



трансформируемый в аналогово-цифровом преобразователе в численное значение температуры.



**Рис. 5.13.** Конструктивное исполнение датчиков температуры с цифровым выходным сигналом: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – преобразователь; 4 – сенсорный модуль; 5 – диэлектрическая прокладка; 6 – соединитель; 7 – трубка термоусадочная; 8 – винт крепления соединителя

Внутренняя проверка работоспособности датчика производится в аналогово-цифровом преобразователе. Тестирование работоспособности производится на всем протяжении функционирования датчика с момента включения питания.

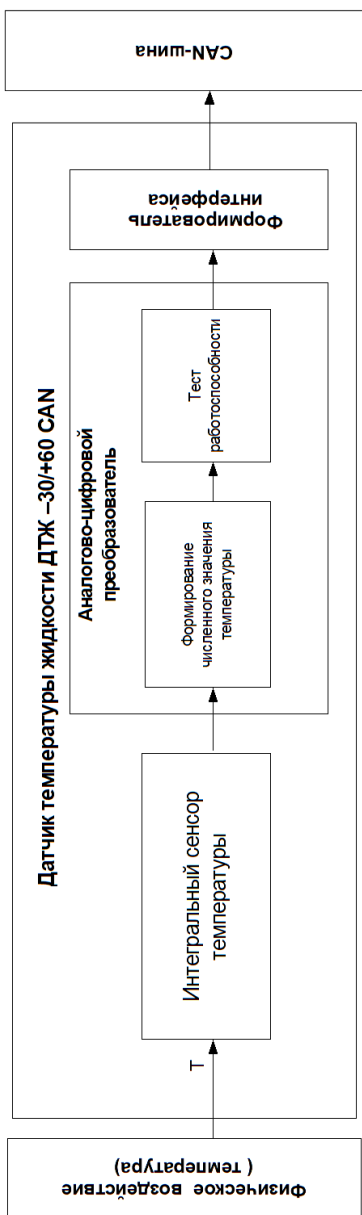
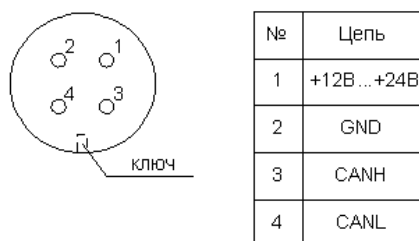


Рис. 5.14. Функциональная схема датчиков температуры с цифровым выходным сигналом

Решение о положительном результате внутреннего контроля работоспособности датчика принимается в том случае, если величина выходного сигнала сенсорного элемента температуры находится в пределах между установленными минимальным и максимальным значениями. Формирователь интерфейса создает CAN-фрейм, соответствующий спецификации протокола CAN 2.0В, и осуществляет передачу данных по шине CAN. CAN-фрейм формируется в соответствии со стеком протоколов, разработанным в НИИ МВС ЮФУ. Передача данных осуществляется с частотой один раз в три секунды. Основные технические характеристики датчиков температуры с цифровым выходным сигналом приведены в табл. 4.2. Нумерация контактов разъемных соединителей датчиков с цифровым выходным сигналом приведена на рис. 5.15.

### X1



X1 - РС4ТВ, кабельная часть со стороны пайки

**Рис.5.15.** Нумерация контактов разъемных соединителей датчиков с цифровым выходным сигналом

### 5.3.2. Датчики давления (разрежения) с цифровым выходным сигналом

Конструктивное исполнение датчиков давления (разрежения) с цифровым выходным сигналом приведено на рис. 5.16 и отличается от датчиков давления с токовым выходным сигналом в части схем обработки сигналов интегральных преобразователей, а также полностью сходно в части конструкции корпусов и сенсорных модулей.

Датчик содержит один канал измерения давления и один канал измерения температуры. Физическое воздействие – давление – преобразуется в аналоговый электрический сигнал, трансформируемый далее в

аналогово-цифровом преобразователе в численное значение давления. Температурная погрешность измерения давления компенсируется программным способом в аналогово-цифровом преобразователе в соответствии с известной зависимостью выходного сигнала сенсорного элемента давления от температуры. Численное значение температуры для коррекции формируется в аналогово-цифровом преобразователе в зависимости от аналогового электрического сигнала интегрального сенсорного элемента температуры.

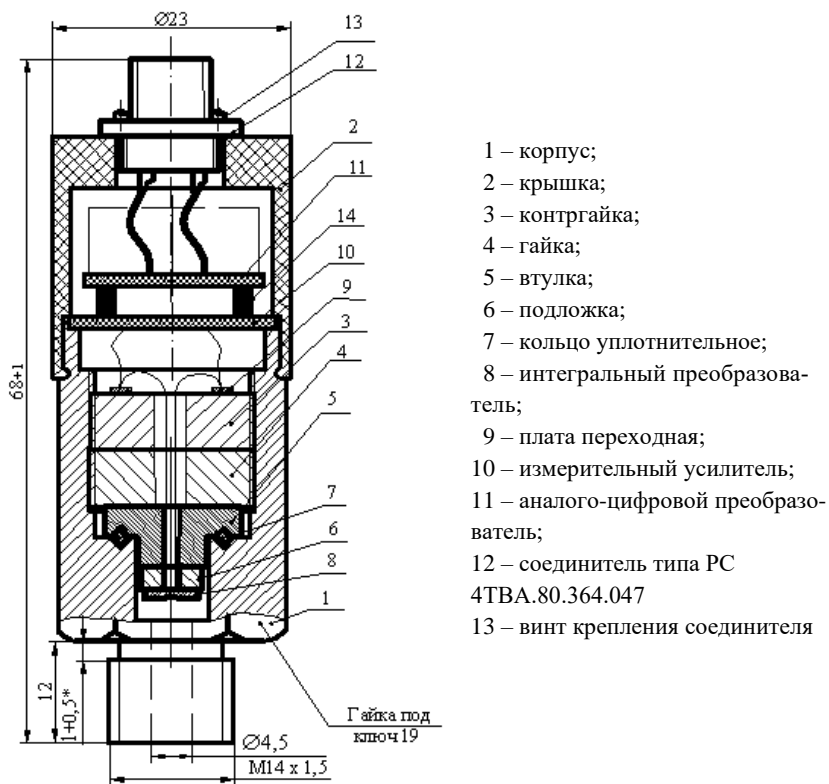


Рис. 5.16. Конструктивное исполнение датчиков давления с цифровым выходным сигналом

Принцип действия каждого датчика давления (разрезания) может быть пояснен с помощью функциональной схемы, представленной на рис. 5.17.

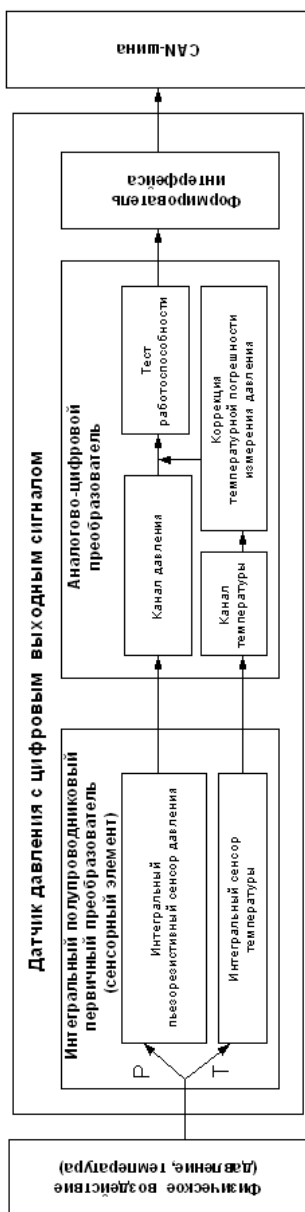


Рис. 5.17. Функциональная схема датчика давления (разрежения) с цифровым выходным сигналом

### **5.3.3. Датчик угла поворота с цифровым выходным сигналом**

В качестве чувствительного элемента датчика угла поворота ДУП-180CAN, разработанного в НИИ МВС ЮФУ, используется микроэлектронный сенсорный элемент, принцип измерения которого основан на гигантском магниторезистивном (ГМР) эффекте.

С момента открытия до настоящего времени ГМР-эффект находится под пристальным вниманием ученых и коммерсантов. Например, технологию ГМР в датчиках скорости применяют компании SSI Tehcnologies и Cherry Electrical Products. Компания Honeywell Sensing and Control обосновала ее применение в датчиках коленчатого вала. На применении данной технологии сфокусировано внимание компаний Chen Yang, Piher-Nacesa и других. С целью решения круга задач именно автомобильного спектра ГМР-технология активно изучается и развивается компанией Bosch [113].

В настоящее время разработчики автомобильной электроники предъявляют к технологиям контроля угла поворота как чисто автомобильные требования, такие как повышенная температурная стабильность, устойчивость к влажности и загрязнениям в автомобильной среде, высокая точность, помехоустойчивость и низкая цена, так и требования высокой чувствительности, малого размера и широкого разброса допусков монтажа.

Всем этим требованиям отвечают бесконтактные магнитоуправляемые технологии. В широком круге задач автомобильного сектора сегодня прослеживается тенденция перехода от потенциометрических, пассивных и трансформаторных индуктивных устройств к активным магнитоуправляемым датчикам, принцип измерения которых основан на эффекте Холла, анизотропном магниторезистивном эффекте (АМР) и ГМР.

АМР- и ГМР-датчики в настоящем представляют значительный интерес для автоэлектроники, так как они более чувствительны и стабильны, чем датчики Холла. При этом изменение в сопротивлении АМР при изменении положения магнита не превышает 3 %, в то время как ГМР-материалы достигают изменения в 10...20 %.

Благодаря высокой чувствительности и температурной стабильности ГМР, улучшенной функциональности и помехоустойчивости основное внимание мировых лидеров рынка автомобильных ГМР-датчиков направлено на их применение в автомобильных системах ABS, ESP, системах

управления двигателем, коробкой передач и динамикой автомобиля. Высококочувствительный и температурно-стабильный ГМР-элемент идеально подходит для удовлетворения требований высокотемпературной автомобильной среды ( $-40...+170$  °С)

ГМР-датчики углового положения конструируются на основе следующего метода. В системах измерения угла магнит на цели вращается перед датчиком, размещенным с нулевым углом между подвижным слоем и «приколотым» слоем на нулевой контрольной оси [59–61]. Когда магнит-цель вращается, угол внешнего поля изменяется относительно направления намагничивания «приколотого» слоя. Угловой датчик ГМР чувствителен только к направлению поля, а не к его величине. Высокая чувствительность и малый размер сенсорного элемента, способность работы в системах с постоянной скоростью обеспечивают широкие рабочие пределы в системах измерения угла поворота, что особенно важно для разработки автомобильных систем с малыми магнитами и большими градиентами полей. ГМР-датчики вырабатывают высокие уровни первичных сигналов, устойчивые к высокочастотной вибрации. За счет вышеперечисленных достоинств могут быть значительно уменьшены системные издержки в производстве датчиков для автоэлектроники, так как могут быть использованы обычные сравнительно недорогие ферритовые магниты.

Функциональная схема, поясняющая принцип действия датчика ДУП-180 CAN, приведена на рис. 5.18.

Физическое воздействие – изменение углового положения постоянного магнита относительно микроэлектронного ГМР-сенсорного элемента, имеющего два идентичных канала преобразования, каждый из которых состоит из мостовой схемы ГМ-резисторов, повернутых друг относительно друга в плоскости на заданный угол, преобразуется в аналоговый электрический сигнал (напряжение разбаланса мостовых схем ГМ-резисторов). Сигнал на выходе первого канала формируется в соответствии с функцией

$$\Delta V_1 = V_{SS} \sin(2\theta), \quad (5.1)$$

а на выходе второго

$$\Delta V_2 = V_{SS} \cos(2\theta), \quad (5.2)$$

где  $\theta$  – измеряемый угол поворота;  $V_{SS}$  – напряжение питания мостовых схем;  $\Delta V_1$ ,  $\Delta V_2$  – напряжения разбаланса первой и второй мостовых схем ГМ-резисторов соответственно.

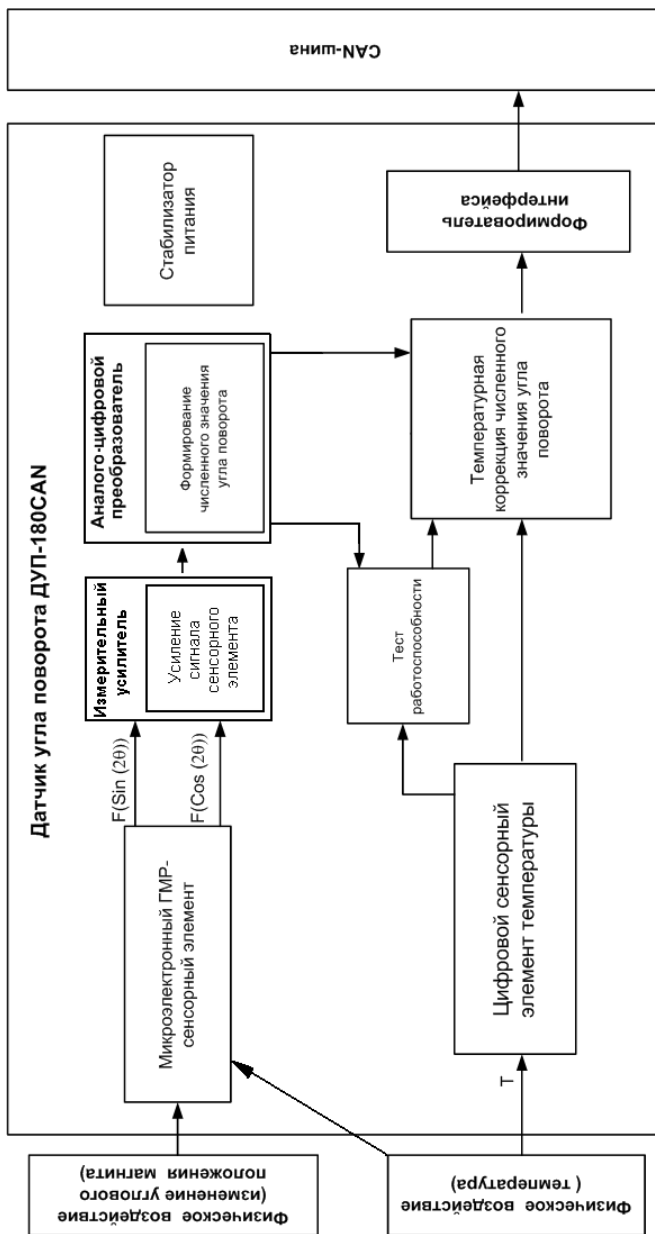


Рис. 5.18. Функциональная схема ДУП-180 CAN

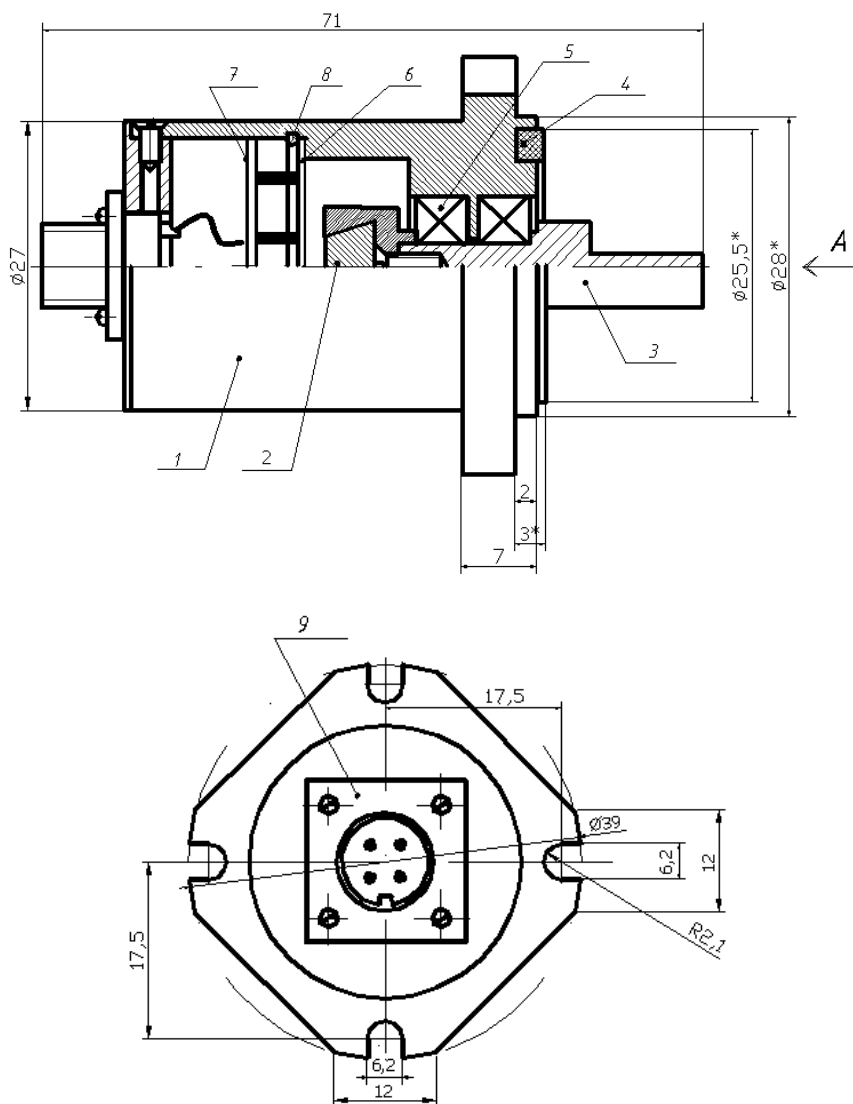


Электрический сигнал каждого из каналов ГМР-сенсорного элемента, усиленный и нормализованный измерительным усилителем, трансформируется в аналогово-цифровом преобразователе в численное значение угла поворота. Температурная погрешность измерения угла поворота компенсируется программным способом в аналогово-цифровом преобразователе в соответствии с известной зависимостью выходных сигналов микроэлектронного ГМР-сенсорного элемента от температуры. Численное значение температуры для коррекции формируется в аналогово-цифровом преобразователе в зависимости от поступающего числового значения цифрового сенсорного элемента температуры.

Внутренняя проверка работоспособности датчика (микроэлектронного ГМР-сенсорного элемента и цифрового сенсорного элемента температуры) производится в аналогово-цифровом преобразователе. Тестирование работоспособности производится на всем протяжении функционирования датчика с момента включения питания. Решение о положительном результате внутреннего контроля работоспособности датчика принимается в том случае, если величина выходного сигнала сенсорного элемента давления находится в пределах между установленными минимальным и максимальным значениями. Результат внутреннего тестирования работоспособности вместе с величиной измеренного угла поворота включается в передаваемый датчиком CAN-фрейм. Формирователь интерфейса создает CAN-фрейм, соответствующий спецификации протокола CAN 2.0B, и осуществляет передачу данных по шине CAN. Конструктивное исполнение ДУП-180 CAN показано на рис. 5.19. CAN-фрейм формируется в соответствии со стеком протоколов, разработанном в НИИ МВС ЮФУ. Передача сообщения, содержащего численное значение угла поворота относительно метки начального положения вала (рис. 5.19), производится датчиком один раз в секунду.

Установка датчика ДУП-180 CAN осуществляется путем фиксации вала датчика на валу контролируемого объекта (при одновременном совмещении нулевых отметок на валу и корпусе датчика) и закрепления корпуса датчика винтами М6, вставляемыми в пазы корпуса датчика, на объекте.

Нумерация контактов разъемного соединителя ДУП-180 CAN приведена на рис. 5.15.



**Рис. 5.19.** Конструктивное исполнение ДУП-180CAN: 1 – корпус; 2 – магнит; 3 – вал; 4 – кольцо уплотнительное; 5 – подшипник шариковый; 6 – измерительный усилитель; 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – кольцо стопорное; 9 – соединитель

В у д А

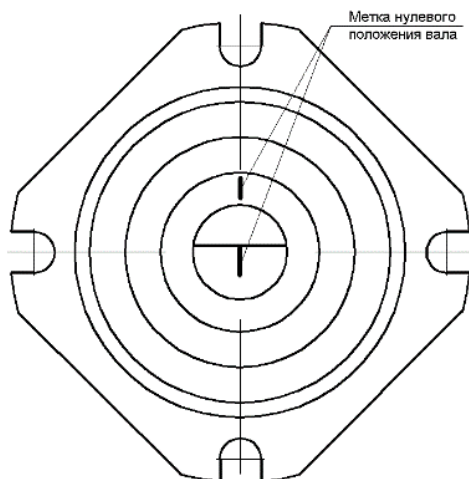


Рис. 5.19. Окончание

#### **5.3.4. Датчики расхода дизельного топлива с цифровым выходным сигналом**

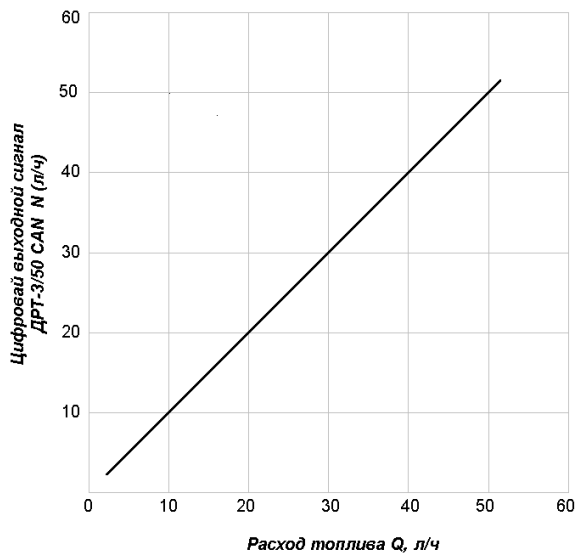
В НИИ МВС ЮФУ разработано семейство микроэлектронных термоанемометрических датчиков расхода дизельного топлива с цифровым выходным сигналом, изготовлены экспериментальные образцы датчиков.

Датчики функционируют на основе метода контроля длительности остывания термоанемометра. Данный метод в общем случае заключается в импульсном перегреве кристалла микротермоанемометра относительно потока до температур  $\sim 10 \dots 40$  °С и измерении длительности остывания кристалла до заданной температуры (превышающей или равной температуре контролируемой среды) в зависимости от расхода (скорости потока) топлива.

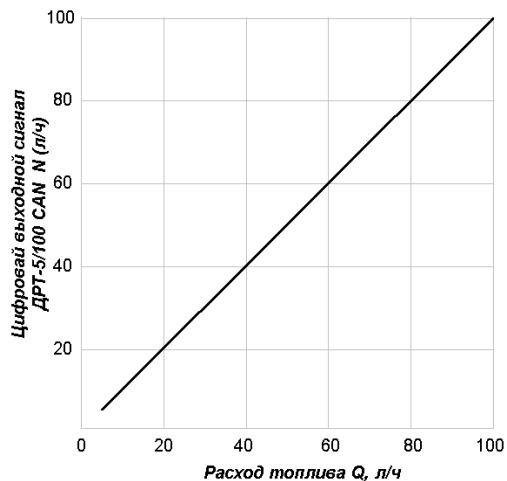
Характеристики преобразования расхода в цифровой выходной сигнал представлены на рис. 5.20.

Внешний вид датчиков ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-0/100 CAN, ДРТ-5/150 CAN показан на рис. 5.21.

Конструктивное исполнение датчиков расхода представлено на рис. 5.22.

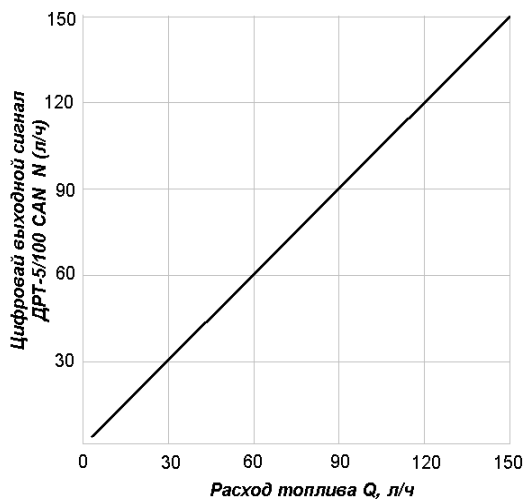


а



б

**Рис. 5.20.** Рабочие характеристики цифровых датчиков расхода дизельного топлива ДРТ-3/50 CAN (а), ДРТ-0/100 CAN (ДРТ-5/100CAN) (б), ДРТ-5/150 CAN(в)



6

Рис. 5.20. Окончание

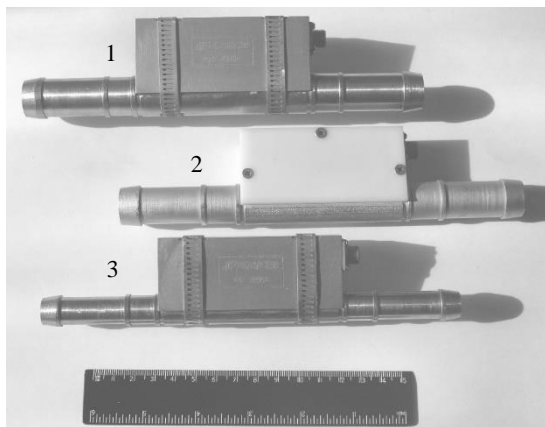
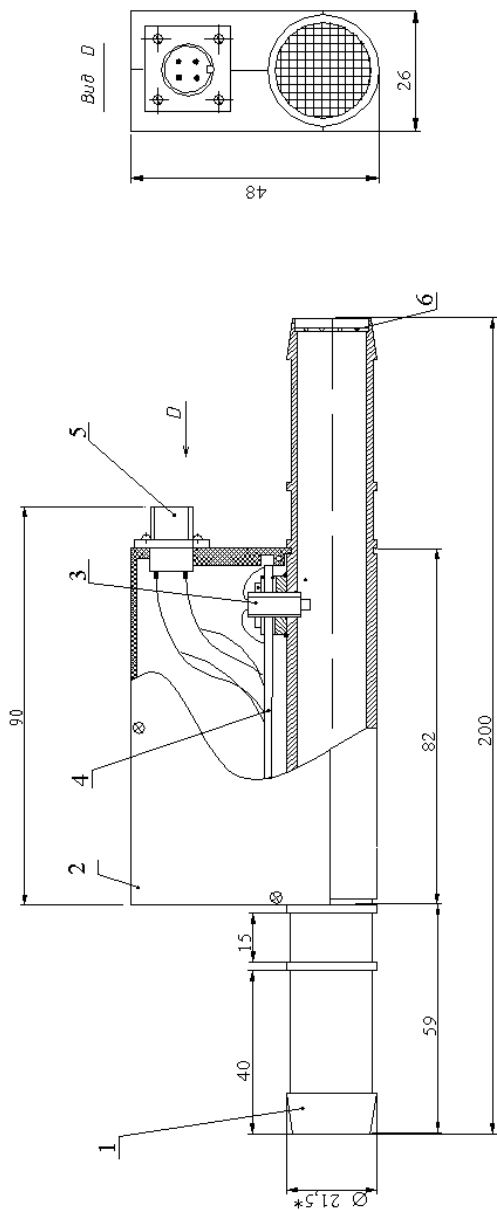


Рис. 5.21. Внешний вид датчиков ДРТ-5/100 CAN (1), ДРТ-0/100 CAN, ДРТ-5/150 CAN (2), ДРТ-3/50 CAN (3)

Датчики расхода дизельного топлива включают в себя следующие основные элементы конструкции: корпус, крышку, сенсорные модули термоанемометра, электронный цифровой преобразователь и соединительный разъем.



\*Размер для ДРТ-0/100 CAN (ДРТ-5/100 CAN) и ДРТ-5/150 CAN (Ø 16 для ДРТ-3/50 CAN)

**Рис. 5.22.** Конструктивное исполнение термоанемометрических цифровых датчиков расхода дизельного топлива ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-0/100 CAN (ДРТ-5/100 CAN), ДРТ-5/150 CAN: 1 – корпус (топливопровод), 2 – крышка, 3 – сенсорный модуль, 4 – плата преобразователя, 5 – соединитель (вилка РС-4 ТВ), 6 – сетка (нерж. ячейка 1x1 мм)

Корпус датчиков ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-0/100 CAN, ДРТ-5/150 CAN представляет собой участок трубопровода (соответствующего диаметра) подачи дизельного топлива к топливному насосу. Корпус имеет входной и выходной штуцера для крепления подводящего и отводящего фланцев топливопровода, проточки для установки крышки датчика и хомутов крепежа датчика к корпусу автомобильной техники, а также рассекатели потока в виде сеток из нержавеющей стали на входном и выходном штуцерах датчика, предназначенные для формирования равномерного профиля скоростей потока в рабочем объеме датчика и защиты термоанемометрических сенсоров от внешних механических воздействий при транспортировке, монтаже и обслуживании датчика.

Влагопылезащита внутренней полости крышки производится с помощью силиконовых маслобензостойких автомобильных герметиков.

Для подключения датчика расхода к бортовой сети питания и шине CAN-интерфейса связи в крышку датчика монтируется вилка разъемного соединителя типа РС 4ТВ.

В качестве первичных преобразователей (сенсоров) датчиков ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-0/100 CAN, ДРТ-5/100 CAN используются микросборки кремниевых модулей термоанемометра, выполненные в виде зондов, вводимых в поток на заданную величину.

Алгоритм работы ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-0/100 CAN, ДРТ-5/100 CAN состоит из следующих основных этапов:

- контроль наличия или отсутствия топлива в рабочей полости корпуса датчика;
- контроль сигнала термоанемометра при прохождении топлива через рабочий объем корпуса датчика;
- контроль температуры топлива;
- расчет температурной коррекции показаний расходомера;
- расчет численного значения расхода  $N$  (л/ч) с помощью линейно-кусочной аппроксимации зависимости, приведенной на рис. 5.23;
- приведение значения величины  $N$  расхода к формату с плавающей запятой;
- передача числового значения величины расхода по интерфейсу CAN.

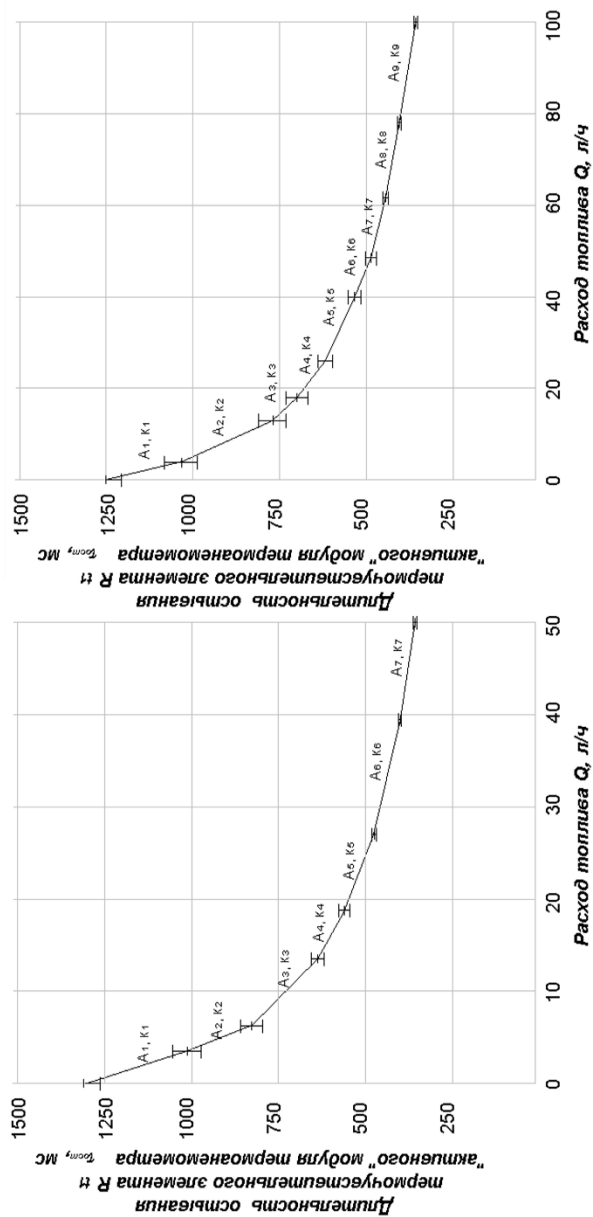


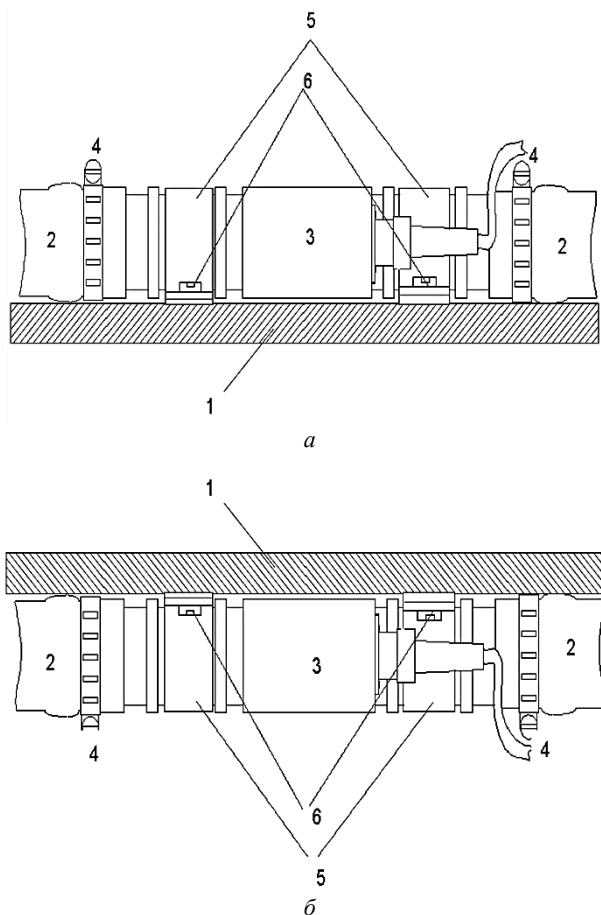
Рис. 5.23. Зависимость длительности остывания измерительного термочувствительного элемента «активного» модуля термометра от расхода дизельного топлива для ДРТ-3/50 CAN (а), ДРТ-0/100 CAN (б)



Проходной диаметр топливопровода датчиков составляет:

- ДРТ-3/50 CAN ..... 11 мм;
- ДРТ-0/100 CAN, ДРТ-5/150 CAN ..... 15,5...17 мм.

Рекомендуемое крепление датчика на транспортном средстве в горизонтальном положении показано на рис. 5.24, а или б.



**Рис. 5.24.** Варианты установки датчика ДРТ-3/50 CAN (ДРТ-5/100 CAN) на борту транспортного средства: 1 – горизонтальная поверхность; 2 – подводящие соединительные патрубки; 3 – датчик расхода топлива; 4 – обжимающие хомуты; 5 – крепежные хомуты; 6 – саморез

Подобный вид установки рекомендуется по следующим причинам:

- минимизация влияния возникновения воздушной прослойки у вертикальной поверхности внутренней полости корпуса датчика;
- устранение влияния конвективной составляющей теплового потока на малых расходах топлива.

Направление подачи топлива указывается с помощью маркировки на корпусе расходомера знака в виде стрелки. Подключение датчика в противоположном направлении может привести к снижению точности процесса измерения.

При эксплуатации расходомера необходимо поддерживать чистоту сеток рассекателей потока на входе и выходе топливоподачи расходомера (например, с помощью фильтра, установленного перед датчиком по направлению потока топлива на рекомендуемом расстоянии  $\geq 350$  мм). Чрезмерное загрязнение сеток может вызвать значительное изменение профиля скоростей потока по сечению рабочей полости корпуса датчика и снижению точности процесса измерения расхода.

Возможны два типа применения датчиков расхода дизельного топлива ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-5/100 CAN, ДРТ-5/150 CAN:

- в составе единой мультиплексной бортовой сети;
- автономно-совместно с устройством индикации расхода УИР-001, разработанного в НИИ МВС ЮФУ.

Первый тип применения датчиков расхода требует детальной проработки алгоритма работы датчика с учетом требований к цифровым датчиковым устройствам, функционирующим в составе единой мультиплексной бортовой сети.

Второй тип применения датчиков расхода дизельного топлива (изложенный ниже) отработан в процессе их стендовых испытаний.

Устройство индикации расхода УИР-001 CAN предназначено для приема, обработки и отображения показаний цифровых датчиков расхода дизельного топлива типов ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-5/100 CAN, ДРТ-5/150 CAN.

Первый тип применения датчиков расхода требует детальной проработки алгоритма работы датчика с учетом требований к цифровым датчиковым устройствам, функционирующим в составе единой мультиплексной бортовой сети.

Второй тип применения датчиков расхода дизельного топлива (изложенный ниже) обработан в процессе их стендовых испытаний.

Устройство индикации расхода УИР-001 CAN предназначено для приема, обработки и отображения показаний цифровых датчиков расхода дизельного топлива типов ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-5/100 CAN, ДРТ-5/150 CAN.

Устройству присвоено условное обозначение (шифр), которое состоит из следующих классификационных признаков:



Основные технические характеристики УИР-001CAN приведены в табл. 5.1. Общий вид показан на рис. 5.25, габаритные и присоединительные размеры устройства индикации расхода представлены на рис. 5. 26.

Устройство индикации расхода УИР-001CAN состоит из следующих основных узлов:

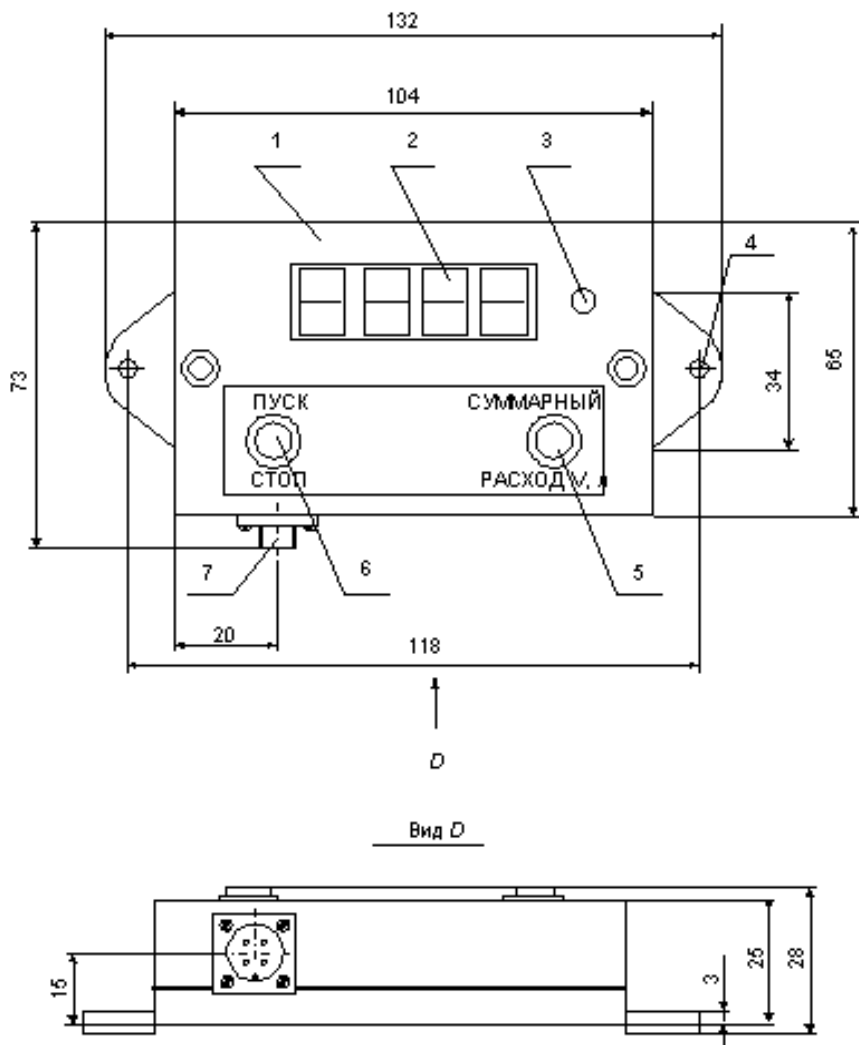
- плата;
- корпус (1);
- цифровой индикатор (2), отображающий значения мгновенного расхода дизельного топлива, поступающие от датчика расхода (ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-5/100 CAN), а также по нажатию кнопки «Суммарный расход V, л» – значения суммарного объема топлива, протекающего через топливопровод датчика расхода с момента его запуска;
- двухцветный светодиодный индикатор (3), отображающий режим работы датчика расхода;
- кнопка (6) запуска/останова датчика расхода;
- кнопка перехода в режим просмотра значения суммарного расхода топлива (5);
- соединительный разъем (7), с помощью которого осуществляется питание УИР-001CAN от бортовой сети и обмен данными с датчиком расхода.

**Основные технические характеристики УИР-001 CAN**

Наименование параметра	Значение
1. Напряжение питания (постоянный ток), В	12 ... 24
2. Максимальный потребляемый ток, мА	100
3. Тип выходного интерфейса	CAN 2.0B
4. Диапазон мгновенных значений индицируемого расхода топлива, л/ч	В соответствии с рабочим диапазоном датчика
5. Диапазон измерения суммарного расхода топлива, л	0 ... 999,9
6. Точность индикации мгновенных значений расхода, л/ч (суммарного расхода, л)	±0,05 (±0,05)
7. Индикация	светодиодная цифровая (цвет – зеленый)
8. Диапазон рабочих температур, °С	-50 ... +55
9. Масса устройства, кг	0,15
10. Габаритные размеры, мм	132 x 73 x 28
11. Тип соединительного разъема	РС4ТВ
12. Допустимая длина соединительной линии между устройством и датчиком расхода, м	не более 500



**Рис. 5.25.** Внешний вид устройства индикации расхода УИР-001



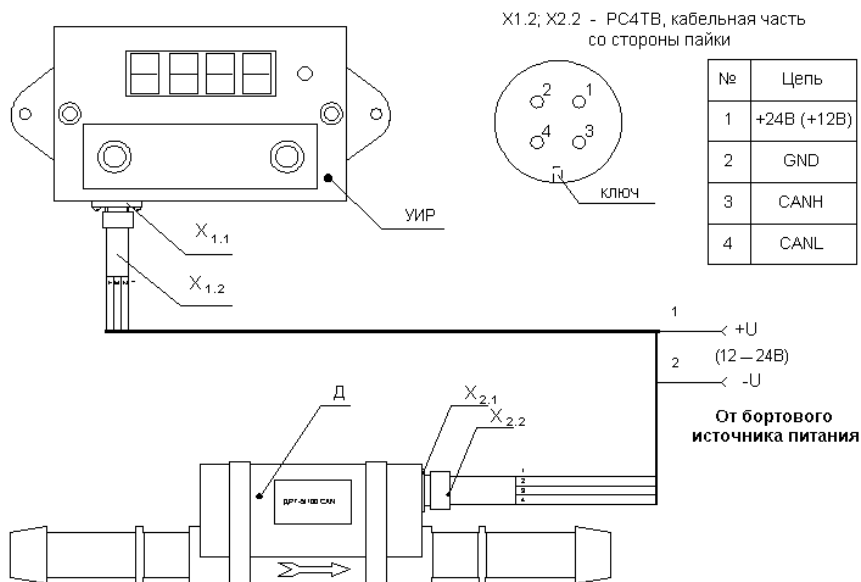
**Рис. 5.26.** Конструкция, габаритные и присоединительные размеры УИР-001CAN: 1 – корпус; 2 – цифровой индикатор; 3 – двухцветный, светодиод; 4 – отверстия для крепления УИР-001 CAN на объекте; 5 –кнопка переключения в режим индикации суммарного расхода; 6 – кнопка запуска/останова функционирования расходомера дизельного топлива; 7 – соединительный разъем (PC4TB)

Место установки устройства должно находиться в кабине (салоне) автотранспортного средства, быть удобным для обзора и доступа оператора (водителя).

Место, способ установки устройства и элементы крепежа (винты, саморезы) должны обеспечивать надежность закрепления и неповреждаемость устройства во время эксплуатации.


Перед подключением УИР-001 CAN необходимо установить датчик расхода топлива в топливную магистраль транспортного средства.


Схема подключения датчика расхода дизельного топлива (ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-5/100 CAN или ДРТ-5/150 CAN) к УИР-001 CAN и бортовому источнику питания, а также цоколевка соединительных разъемов устройства индикации и датчика расхода представлены на рис. 5.27.



**Рис. 5.27.** Схема подключения УИР-001 CAN к бортовому источнику питания и датчиковой аппаратуре: УИР – устройство индикации расхода УИР-001CAN; Д – датчик расхода (ДРТ-3/50 CAN, ДРТ-5/100 CAN); X<sub>1.1</sub>, X<sub>2.1</sub> – разъем (вилка) PC4TB; X<sub>1.2</sub>, X<sub>2.2</sub> – разъем (розетка) PC4TB

Алгоритм совместной работы датчика и устройства индикации расхода:

– Включение питания УИР-001CAN и датчика расхода. При этом на передней панели устройства индикации расхода загорается красный светодиод (поз. 3, рис. 5.26) и высвечивается значение:  на цифровом индикаторе (поз. 2, рис. 5.26).

– При нажатии кнопки «ПУСК/СТОП» производится **запуск** функционирования расходомера (датчик расхода начинает производить измерение мгновенных значений расхода дизельного топлива (в л/ч) и передавать данные по CAN-интерфейсу), при этом на передней панели УИР-001 CAN загорается зеленый светодиод (поз. 3, рис. 5.26) и на цифровом индикаторе высвечиваются мгновенные значения расхода, передаваемые расходомером. В случае, если обмен данными датчика расхода и УИР-001CAN нарушен (датчик расхода не подключен, неправильное подключение расходомера, расходомер неисправен), через 4 секунды после нажатия кнопки запуска расходомера «ПУСК/СТОП» на передней панели устройства загорается красный светодиод (т.е. подается команда останова функционирования датчика расхода) и на цифровом индикаторе отображается сигнал ошибки – .

– В любой момент времени после запуска расходомера можно осуществить просмотр суммарного объема топлива, протекшего через топливopровод датчика. При нажатии на кнопку «СУММАРНЫЙ РАСХОД V, л» на цифровом индикаторе прекращается отображение значений мгновенного расхода и выводится значение суммарного расхода топлива (в литрах), протекшего через расходомер с момента его запуска до момента нажатия на кнопку «СУММАРНЫЙ РАСХОД V, л». Во время просмотра оператором суммарного расхода мгновенные значения, передаваемые датчиком, продолжают приниматься и обрабатываться УИР-001 CAN.

– Повторное нажатие на кнопку «СУММАРНЫЙ РАСХОД V, л» позволяет вернуться в режим индикации мгновенных значений расхода. При этом индицируется последнее мгновенное значение расхода, переданное расходомером во время просмотра оператором суммарного расхода топлива.

– После завершения работы (т.е. перед выключением двигателя транспортного средства и прекращением подачи топлива) необходимо нажать кнопку «ПУСК/СТОП» и произвести остановку функционирования

расходомера. При этом на передней панели УИР-001 CAN загорается красный светодиод и на цифровом индикаторе отображается последнее, переданное расходомером, значение мгновенного расхода топлива. Далее до отключения электропитания от устройства УИР-001 CAN возможен просмотр суммарного расхода топлива за время работы расходомера (с помощью нажатия кнопки «СУММАРНЫЙ РАСХОД V, л»; при повторном нажатии индицируется  $\square\square\square\square$ , так как расходомер выключен). Просмотр суммарного расхода топлива за время работы после остановки функционирования датчика расхода можно производить многократно, так как это значение сохраняется в памяти УИР-001 CAN до отключения электропитания от устройства.

Приведенный алгоритм работы датчиков расхода дизельного топлива совместно с устройством индикации расхода может быть изменен в соответствии с требованиями заказчика по взаимному согласованию с целью оптимизации работы устройств и минимизации действий оператора (водителя).

### **Контрольные вопросы**

1. Какими факторами определяется номенклатура датчиковых устройств?
2. Приведите функциональную схему датчиков температуры.
3. Приведите функциональную схему датчиков давления.
4. Приведите функциональную схему датчиков частоты вращения.
5. Приведите функциональную схему датчиков температуры с цифровым выходным сигналом.
6. Приведите функциональную схему датчиков давления с цифровым выходным сигналом.



## **6. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ С УСТРОЙСТВОМ РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ**

### **6.1. Модель прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании бортовой системы контроля с устройством регистрации данных**

Для оценки множества диагностических параметров АТ исследовались модели прогнозирования и контроля остаточного ресурса (наработки до технического воздействия). В качестве прототипа математической модели была выбрана модель, разработанная авторами Н. Н. Смирновым и А. А. Ицковичем, которая позволяет определять периодичность контроля технического состояния объекта по динамике изменения диагностических показателей [92]. В дальнейшем рассматривается остаточный ресурс, подразумевая наработку сложной технической системы (СТС) АТ до достижения значения диагностического параметра своей предельной величины.

Отличительная особенность остаточного ресурса заключается в том, что его определяют индивидуально по конкретному элементу на основе динамики его параметров состояния. Используя этот метод, представляется возможным в 1,5...2 раза уменьшить число отказов или увеличить фактически использованный ресурс диагностируемых элементов машин [63].

Для разработки модели рассмотрим АТ как сложную техническую систему, состоящую из множества элементов. Техническое состояние всей системы определяется индивидуальными состояниями составляющих ее элементов [119]. Для обеспечения условия оптимальности, заключающегося в обеспечении некоторого соответствия назначаемых состояний процесса технической эксплуатации объекта, необходимо предварительно разработать математическую модель режима диагностирования и замены элементов системы, или же периодичности технических воздействий. Такой подход, прежде всего, связан с необходимостью максимально возможного снижения вероятностей отказов элементов СТС на основе прогнозирования динамики контролируемых параметров и возможного планирования технических воздействий.

В большинстве работ по надежности рассматриваются модели элементов с работоспособным и неработоспособным состояниями [117, 118, 120–122]. Такой подход упрощает решение задачи по выбору периодичности проверок и сводит их решение в основном к определению остаточного ресурса. Реальные процессы износа деталей и изменение контролируемых параметров элементов протекают непрерывно во времени и переход элемента из одного состояния в другое происходит в моменты пересечения процессом уровней, разделяющих эти состояния. Для формального описания этих процессов разрабатывалась математическая модель изменения контролируемых параметров элементов, которая учитывала закономерности процесса при определении того или иного режима профилактики. Эту задачу можно сформулировать следующим образом. Пусть техническое состояние элемента, представляющего собой неделимую по признаку замены на автомобиле часть системы, определяется численными значениями специально выбранных контролируемых параметров (см. рис. 6.1). Пусть далее  $S(t)$  – монотонная случайная функция времени  $t$ , соответствующая контролируемому параметру изделия,  $S_{\text{пред.}}$  – предельно допустимое значение параметра, пересечение которого реализациями случайного процесса приводят к отказам элемента,  $S_{\text{доп.}}$  – наименьшее предотказовое значение параметра, такое, что интервал  $\Delta S = S_{\text{пред.}} - S_{\text{доп.}}$  определяет упреждающий отказ-допуск. Область от  $S_{\text{ном.}}$  до  $S_{\text{доп.}}$  – изменения случайной функции – будем называть исправным состоянием элемента (состояние 1), область  $S_{\text{доп.}}$ ,  $S_{\text{пред.}}$  – изменения  $S(t)$  – будем называть состоянием профилактических замен (состояние 2), а область  $S_{\text{пред.}}$ ,  $\infty$  – неработоспособным (состояние 3).

Примем следующие допущения относительно случайной величины  $S(t)$ . Прежде всего, пусть  $P\{S_{\text{ном.}} < S(t_0) < S_{\text{доп.}}\} = 1$ , т.е. элемент, имеющий наработку  $t = 0$ , находится в исправном состоянии с вероятностью «единица». В момент  $t = \tau$  случайный процесс  $S(t)$  соответствует исправному состоянию с вероятностью  $P_1 = P\{S_{\text{ном.}} < S(t) < S_{\text{доп.}}\}$ , состоянию профилактических замен (или другими словами неисправному) с вероятностью  $P_2 = P\{S_{\text{доп.}} < S(t) < S_{\text{пред.}}\}$  и неработоспособному состоянию с вероятностью  $P_3 = P\{S_{\text{пред.}} < S(t) < \infty\}$ . Таким образом, распределение процесса по состояниям элемента подчиняется условию нормирования  $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ . Предполагается также, что при замене устанавливается новый элемент или отремонтированный, причем последний по своему техническому состоянию эквивалентен новому.

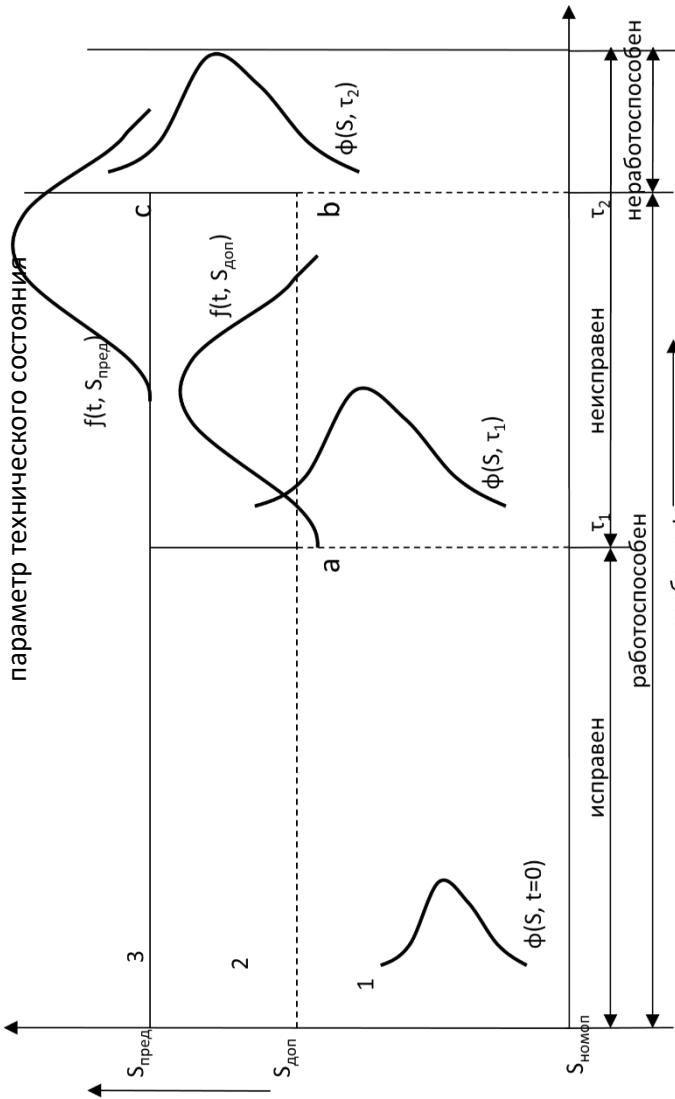


Рис. 6.1. Диаграмма состояний, связывающая периодичность проверок с упреждающим отказом допуском параметра

Рассмотрим вертикальное сечение процесса  $\mathbf{S}(t)$  в точке  $t = \tau$  (рис. 6.1).

В этот момент выполняется проверка технического состояния элемента. Если в это время элемент находится в состоянии 1, то выдается разрешение на его дальнейшую эксплуатацию, если элемент находится в состоянии 2, то выполняется его профилактическая замена (ТО или ТР), и если элемент находится в состоянии 3, то выполняется его аварийная замена или ремонт.

Предположим, что в результате статистического исследования получено формальное описание случайного процесса  $\mathbf{S}(t)$  и известен из технической документации предельный уровень определяющего параметра  $S_{\text{пред.}}$ . Тогда задача заключается в том, чтобы определить связь периодичности проверок  $T = \tau_2 - \tau_1$  и упреждающего отказа допуска  $\Delta S = S_{\text{пред.}} - S_{\text{доп.}}$  на контролируемый параметр  $S_{\text{пред.}} - S_{\text{доп.}} = f(T)$ .

Определим связь периодичности проверок и упреждающего допуска на контролируемый параметр. Проверка технического состояния элемента осуществляет роль своеобразного экрана – прозрачного при  $\mathbf{S}(t) < S_{\text{доп.}}$  и поглощающего  $\mathbf{S}(t) > S_{\text{доп.}}$ . Момент проверки должен быть выбран таким образом, чтобы  $S_{\text{доп.}} < \mathbf{S}(t) < S_{\text{пред.}}$ .

Рассмотрим теперь горизонтальное сечение процесса в точках  $S_{\text{доп.}}$  и  $S_{\text{пред.}}$ . Уровни  $S_{\text{доп.}}$  и  $S_{\text{пред.}}$  пересекаются случайным процессом  $\mathbf{S}(t)$  в случайные моменты времени  $\tau_{\text{доп.}}$  и  $\tau_{\text{пред.}}$ . При этом очевидно, что состоянию профилактических замен должно соответствовать условие  $\tau_{\text{доп.}} < \tau < \tau_{\text{пред.}}$ .

Пусть  $\tau_1$  и  $\tau_2$  – соответственно моменты времени проведения первой и второй проверок, а  $x$  – случайный момент времени пересечения процесса уровня  $S_{\text{доп.}}$  и  $S_{\text{пред.}}$ , т.е.  $\tau_1, \tau_2 \in x$ . Очевидно, что при фиксированном уровне  $S_{\text{пред.}}$  имеем  $x \leq \tau_1$  тогда и только тогда, когда  $S > S_{\text{доп.}}$ . Для  $S_{\text{пред.}}$  получаем по аналогии, что  $x \leq \tau_2$  тогда и только тогда, когда  $S > S_{\text{пред.}}$ . Отсюда для пересечения событий  $\{x \leq \tau_1\} \cap \{x \leq \tau_2\} = \{x \leq \tau_1\}$  на уровне  $S_{\text{доп.}}$  тогда и только тогда, когда  $\{S > S_{\text{доп.}}\} \cap \{S > S_{\text{пред.}}\} = \{S > S_{\text{пред.}}\}$  для момента  $\tau_2$ .

Таким образом,  $P \{x \leq \tau_1\}$  при  $S_{\text{доп.}} = P \{S > S_{\text{пред.}}\}$  при  $\tau_2$ .

Отсюда

$$\int_0^{\tau_1} f(x, S_{\text{доп.}}) dx = \int_{S_{\text{пред.}}}^{\infty} \varphi(S, \tau_2) dS, \quad (6.1)$$

где  $f(x, S_{\text{доп}})$  и  $\varphi(S, \tau_2)$  соответственно плотности распределения случайной величины  $x$  на уровне  $S_{\text{доп}}$  и случайной величины  $S \in \mathbf{S}(t)$  в момент  $\tau_2$ .

Точно так же по типу уравнения (6.1) можно вывести уравнение для одного только уровня  $S_{\text{доп}}$  и момента  $\tau_2$ :

$$\int_0^{\tau_2} f(x, S_{\text{доп}}) dx = \int_{S_{\text{доп}}}^{\infty} \varphi(S, \tau_2) dS. \quad (6.2)$$

Сравнивая уравнение (6.3) и (6.4), окончательно имеем

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} f(t, S_{\text{доп}}) dt = \int_{S_{\text{доп}}}^{S_{\text{пред}}} \varphi(S, \tau_2) dS. \quad (6.3)$$

Таким образом, доказана теорема следующего содержания: для монотонного случайного процесса  $\mathbf{S}(t)$  с заданными  $\tau_1$  и  $S_{\text{пред}}$ , очередной срок диагностирования  $\tau_2$  и наименьшее предотказовое значение параметра  $S_{\text{доп}}$  удовлетворяют уравнению (6.3).

Данная модель имеет общий подход к связи периодичности контроля технического состояния элементов СТС и динамикой изменения значений контролируемых параметров. Такой подход не учитывает влияния погрешностей измерений, характеризуемых случайным процессом  $\mathbf{S}(t)$ . Также достаточно трудно оценить степень варьирования прогнозируемого момента контроля  $\tau_2$  и степень влияния точности показаний приборов контроля (в нашем случае датчиков) на результат прогноза. Для формального описания этого представим предельное или допустимое значение контролируемого параметра в виде суммы собственно значения  $S_{\text{пред}}$  или  $S_{\text{доп}}$  и погрешности прибора (датчика)  $\Delta S$ . Аналогично, очередной срок диагностирования  $\tau_1$  или  $\tau_2$  в виде суммы собственно значения и погрешности  $\Delta \tau$ . Тогда уравнение (6.3) примет вид

$$\int_{\tau_1 \pm \Delta \tau}^{\tau_2 \pm \Delta \tau} f(t, S_{\text{доп}} \pm \Delta S) dt = \int_{S_{\text{доп}} \pm \Delta S}^{S_{\text{пред}} \pm \Delta S} \varphi(S, \tau_2 \pm \Delta \tau) dS. \quad (6.4)$$

Эта теорема справедлива для общих условий технической эксплуатации. Некоторые ограничения, накладываемые на уравнение (6.5) условием использования в качестве исходных данных известного  $\tau_1$ , являются

кажущимися, так как в одном случае можно положить  $\tau_1 = 0$ , а в другом определить его значение из условия заданного уровня вероятности безотказной работы  $P_{\text{зад}}$  или допустимой вероятности отказа:

$$q_{\text{доп}} = 1 - P_{\text{зад}}, \quad (6.5)$$

$$P(S_{\text{пред}} < S \leq \infty; \tau_1) = \int_{S_{\text{пред}}}^{\infty} \varphi(S; \tau_1) dS \leq q_{\text{доп}}. \quad (6.6)$$

Из доказанной теоремы следует:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} f(t, S_{\text{пред}}) dt = \int_0^{\tau_1} f(t, S_{\text{доп}}) dt. \quad (6.7)$$

Физический смысл этой теоремы состоит в наглядном представлении о горизонтальных  $S_{\text{доп}}$  и вертикальных  $\tau_1, \tau_2, \tau_n$  экранях. Будем называть отрезок  $\Delta S = S_{\text{пред}} - S_{\text{доп}}$ , означающий упреждающий допуск отказа, вертикальным поглощающим экраном, а  $\Delta t = \tau_{i+1} - \tau_i$  – горизонтальным экраном, который может быть как поглощающим, так и прозрачным. Горизонтальный экран (ab) (см. рис. 6.1) будет поглощающим при наличии непрерывного контроля с использованием автоматизированной бортовой системы контроля или индикации достижения наименьшего предотказового значения параметра. В случае периодических проверок поглощающим становится вертикальный (bc). Такую математическую модель называют моделью экранов. Из рассмотрения модели следует ряд стратегий воздействий на элементы СТС. При  $S_{\text{доп}} = 0$  имеем метод замены элементов после обработки ресурса (рис. 6.1), при  $S_{\text{доп}} = S_{\text{пред}}$  – метод замены после отказа (рис. 6.2). Последние две модели (рис. 6.3, 6.4) означают метод технических воздействий по состоянию при непрерывном и дискретном контроле.

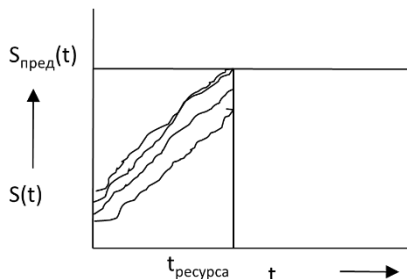
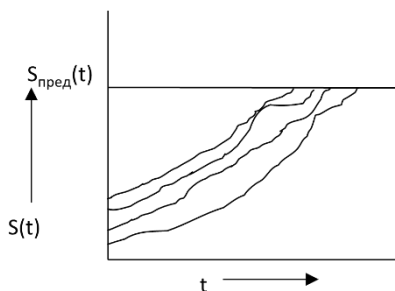
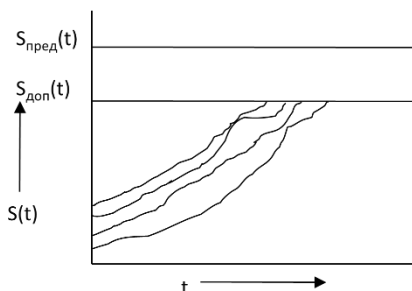


Рис. 6.2. Схема метода замены элементов после обработки ресурса

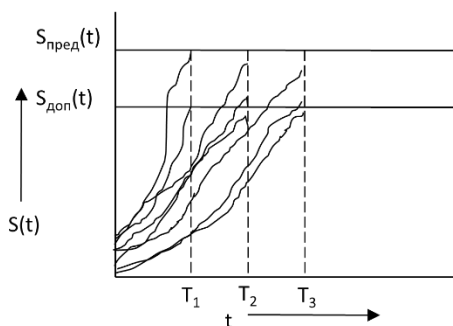


**Рис. 6.3.** Схема метода замены элементов после отказа



**Рис. 6.4.** Схема метода технических воздействий по состоянию при непрерывном контроле

В случае непрерывного контроля для определения упреждающего допуска отказа также используется уравнение (6.9). Однако здесь оно приобретает другой смысл и означает интервал времени с момента перехода в состояние потери исправного состояния (рекомендовано техническое воздействие) при пересечении уровня  $S_{дон}$  до момента замены (ремонта) элемента АТ.



**Рис. 6.5.** Схема метода технических воздействий по состоянию при дискретном

В этом случае определение упреждающего допуска по (6.9) обеспечивает предупреждение отказа. В тех случаях, когда некоторые элементы имеют худшее качество или эксплуатируются в более тяжелых условиях, реализации их контролируемых параметров могут отличаться от описанного случайного процесса. Тогда не все траектории случайного процесса  $n$ , прошедшие горизонтальный экран  $S_{дон}$ , попадут на вертикальный

поглощающий экран, так как часть реализаций  $\mathbf{m}$  раньше достигнет предельно допустимого значения параметра  $\mathbf{S}_{\text{пред}}$ . Тогда на вертикальный поглощающий экран попадет всего лишь  $\mathbf{n} - \mathbf{m}$  траекторий процесса. Если через  $\mathbf{P}$  обозначить вероятность превышения предельного допустимого значения параметра в межпроверочный период, то вероятность попадания траектории реализации параметра на вертикальный поглощающий экран будет  $\mathbf{1} - \mathbf{P}$ . Тогда, согласно предельной теореме о редующих потоках, можно записать, что интенсивность разряженного потока за предельный уровень

$$\lambda_p = \mathbf{P} \lambda, \quad (6.8)$$

где  $\lambda$  – интенсивность потока через горизонтальный экран  $\mathbf{S}_{\text{доп}}$ .

Тогда интенсивность потока через вертикальный поглощающий экран  $\lambda_s = (\mathbf{1} - \mathbf{P}) \lambda$ , а уравнение (6.7) примет следующий вид:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} (1 - P) \lambda(t) \exp \left\{ - \int_0^{\tau} (1 - P) \lambda(x) dx \right\} dt = \int_{S_{\text{доп}}}^{S_{\text{пред}}} \rho(S) \exp \left\{ - \int_0^S P(u) du \right\} dS. \quad (6.9)$$

где  $\rho(\mathbf{S})$  – интенсивность потока в вертикальном сечении.

Вероятность  $\mathbf{P}$  может быть оценена статистически по результатам испытаний или эксплуатации. Вероятность  $\mathbf{P}$ , на наш взгляд, целесообразно определять при использовании устройства регистрации данных. Задача по определению связи упреждающего допуска отказа  $\Delta \mathbf{S} = \mathbf{S}_{\text{пред}} - \mathbf{S}_{\text{доп}}$  и периодичности проверок  $\tau = \mathbf{t}_{i+1} - \mathbf{t}_i$  должна решаться с учетом погрешностей измерений, оказывающих влияние на достоверность определения момента контроля за счет точности регистрации значений диагностического параметра.

Таким образом, в данном разделе теоретически определено влияние погрешности результатов измерения приборами (в нашем случае датчиками) на величину прогноза наработки до контроля технического состояния узла, агрегата или системы автомобильной техники (АТ). Дальнейшим этапом теоретических исследований является разработка непосредственно самого алгоритма методики прогнозирования значений диагностических параметров АТ, а также обоснование критериев оценки степени влияния погрешности датчиков на величину прогноза.



## **6.2. Алгоритм методики прогнозирования значений диагностических параметров АТ**

Для разработки алгоритма методики прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании непрерывного контроля необходимо, прежде всего, выбрать прототип существующего устройства или системы, работа которых позволит реализовать последовательность определенных действий. Проведенный анализ подобных систем позволил сделать вывод о возможности своевременного планирования технических воздействий при использовании систем и устройств регистрации и анализа параметров технического состояния. Однако в этих устройствах не предусматривается прогнозирование тенденций изменения диагностических параметров. В основном современные устройства контроля и анализа основаны на анализе «ошибок», вызванных отклонением показателей от эталонных значений. Предполагалось, что существуют возможные устройства, позволяющие осуществлять прогноз динамики контролируемого параметра, по результатам которого планируются технические воздействия. В качестве прототипа целесообразно выбрать БСК с устройством регистрации данных. В состав БСК входят датчики контроля и необходимые сигнализаторы, указатели диагностических параметров. Предложенное устройство регистрации данных должно функционировать совместно с БСК и состоять как минимум из блока формирования эталонов, в котором должны храниться значения параметров, блока решающего алгоритма, представляющего собой процессор, выполняющий вычисления, и блока анализа и сохранения информации.

Проанализировав схему функционирования БСК с устройством регистрации данных, был разработан специальный алгоритм (рис. 6.6). Подключение мобильного рабочего места оператора к устройству регистрации данных (блок 1) производится по возвращении машины в парк.

Периодичность подключения должна определяться исходя из показателей надежности для того, чтобы «успеть» предотвратить вероятный отказ узлов, агрегатов и систем АТ. После подключения производится передача информации (блок 2) из устройства регистрации данных за период времени  $\Delta t$  в МРМО, где создается база данных ( $D_t$ ) диагностических показателей, характеризующих процесс использования АТ. Для этого в блоке 3 принимается решение о создании базы данных. Если база данных создана, то выполняется процесс 5 – проверка массива на однородность дисперсий, в противном случае – процесс 4 создания базы данных.

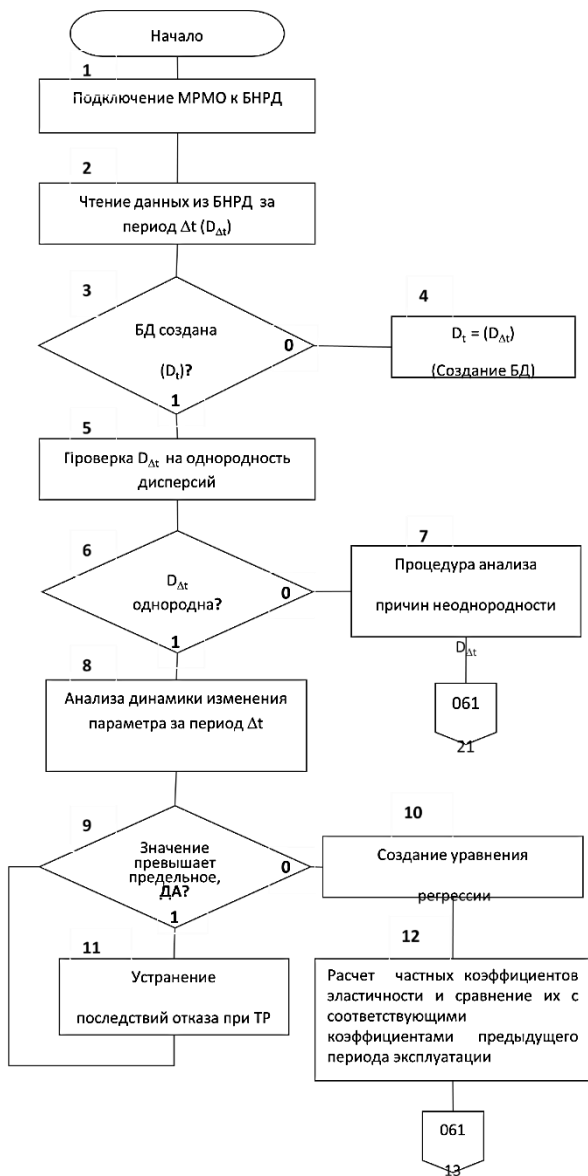


Рис. 6.6. Алгоритм методики прогнозирования значений диагностических параметров АТ

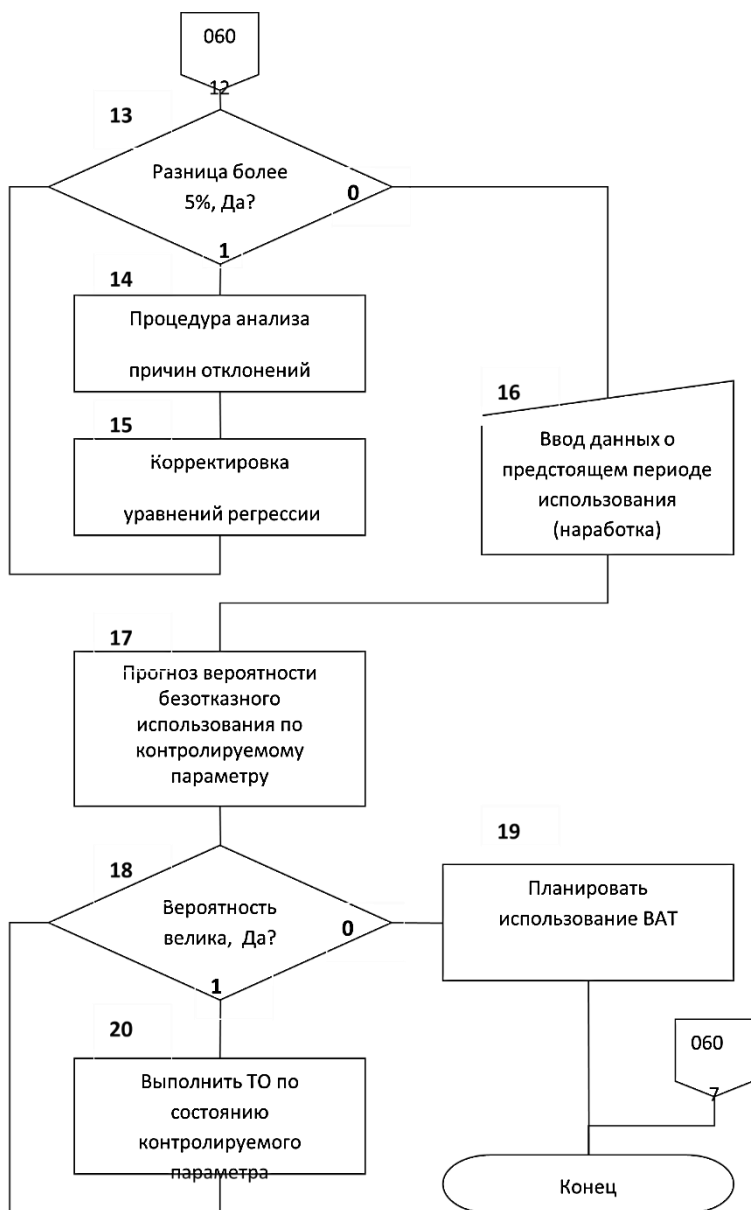


Рис. 6.6. Окончание

Проверка массива обусловлена тем, что правильная обработка и использование результатов экспериментальных исследований возможны только в случаях, когда дисперсии измерений функций отклика в каждой точке опыта одинаковы. В случае, когда проверка дает отрицательный результат, то полученный эмпирический материал для аппроксимации функции отклика не рекомендуется.

Для решения этой проблемы необходимо увеличить объем выборки. В связи с этим процесс 6 выполняет проверку на однородность массив данных по контролируемым параметрам и сохраняет эксплуатационные показатели об использовании автомобиля за период  $\Delta t$ . Далее блок 6 решения производит оценку однородности массива данных. Если массив однороден, то выполняется блок 8 анализа динамики изменения параметра за период  $\Delta t$ , в противном случае – блок 7 – процедура анализа причин неоднородности  $D_{\Delta t}$ , которая может быть вызвана изменением коэффициента вариации и другими статистическими характеристиками. Блок 8 реализован в блоке решения 9, сравнивающего текущее значение контролируемого параметра с его предельным значением при фиксированных режимах, чем достигается активный контроль объекта АТ. Фиксированные режимы обусловлены тем, что большинство диагностических показателей АТ являются приведенными к строго определенным условиям сравнения. Например, из инструкции по эксплуатации автомобилей семейства КамАЗ [68] известно, что при прогревом двигателя и частоте вращения коленчатого вала двигателя соответствующее холостому ходу давление масла в двигателе должно быть не ниже  $10^5$  Па ( $1 \text{ кгс/см}^2$ ). Соответственно, используя аналогичную информацию о диагностических параметрах, можно проводить активный контроль технического состояния объектов АТ. При превышении текущего значения контролируемого параметра выполняется блок 11 – направление автомобиля в текущий ремонт для устранения последствий отказа. После проведения ТР автомобилю производится сравнение в блоке 9 текущего значения контролируемого параметра с его предельным значением и после чего выполняется блок 10 создания уравнения регрессии. Причем уравнение регрессии создается по обработанному массиву данных по контролируемому параметру и при фиксированных режимах работы. Характер аппроксимирующей линии определяется исходя из наилучших показателей критериев оценки регрессионной модели. В настоящее время достаточно

программных средств обработки статистической информации для этой цели. Для оценки значимости независимых переменных, включаемых при моделировании тренда, необходимо использовать показатели, которые позволяют определять в динамике степень влияния независимых переменных на зависимые (отклики). Для этого в блоке 12 производится расчет частных коэффициентов эластичности и сравнение их с соответствующими коэффициентами предыдущего периода эксплуатации, которое реализуется в блоке 13 сравнения значений коэффициентов с разницей в 5% от предыдущего уравнения. Коэффициент эластичности показывает, на сколько процентов в среднем изменится значение результативного признака при изменении факторного признака на 1 % [69].

При возникновении большого отклонения выполняется блок 14 – процедура анализа причин отклонений, которые связаны непосредственно с изменением статистических характеристик массива данных по контролируемому параметру. Отклонения могут быть вызваны изменением технического состояния контролируемого элемента, также повышением погрешности датчиков БСК, возможны и другие причины. После анализа причин отклонений выполняется блок 15 – корректировка уравнения регрессии, где производится уточнение модели (или ее создание при первом прохождении по алгоритму). Таким образом, осуществляется корректировка прогнозируемой наработки АТ до достижения среднего значения диагностического параметра предельного состояния. После чего повторно выполняется блок 13. Далее выполняется блок 16 – ввод данных о предстоящем периоде использования и предельной величины диагностического параметра. В зависимости от составленных уравнений регрессии и входящих в них независимых переменных пользователь вводит планируемые значения наработки в виде моточасов работы, планируемого пробега объекта АТ или суммарного количества оборотов коленчатого вала двигателя в предстоящий период. Прогноз вероятности отказа по контролируемому параметру, заключающийся в определении остаточной наработки безотказного использования объекта АТ, реализован в блоке 17 за счет расчета зависимой переменной, выраженной из уравнения регрессии (обычно наработки). Сравнение расчетного значения переменной (наработки) производится с предельным значением наработки (исходя из планируемого использования АТ) в блоке 18, если значение прогнозируемой наработки меньше

значения планируемой наработки, то выполняется блок 19 – планирование использования АТ на предстоящий период. В противном случае выполняется блок 20 выполнения технического обслуживания по состоянию контролируемого параметра. После этого повторно производится сравнение в блоке 18. Значение планируемой наработки задается исходя из интенсивности использования объекта АТ, принадлежности его к группе эксплуатации и требованиями к эксплуатационной надежности.

Таким образом, использование алгоритма методики прогнозирования значений диагностических параметров на практике, на наш взгляд, позволит осуществить сбор и обработку эксплуатационных данных и анализировать динамику изменения контролируемых параметров АТ для поддержания ее работоспособности. В качестве критерия оценки степени влияния погрешности датчиков на величину прогноза наработки выбраны частные коэффициенты эластичности, которые, на наш взгляд, позволят математически характеризовать значимость результатов измерений как показателей на величину отклика, так и собственно погрешности датчиков.

### **6.3. Модель оптимизации состава датчиков для бортовых систем контроля военной автомобильной техники**

Для оценки степени влияния точности датчиков на достоверность прогнозируемой наработки автомобиля до технического воздействия необходимо рассмотреть факторы, которые в общем влияют на точность регистрации показателей. На величину прогнозируемой наработки влияют такие факторы, как соответствие значений, регистрируемых датчиками, их истинным величинам, характеристики точности измерений, условия регистрации показателей, характеристики аналого-цифрового преобразователя устройства регистрации данных. Математически точность измерений представляется как дисперсия случайной величины регистрируемого показателя. Следовательно, чем меньше дисперсия исследуемого диагностического показателя, тем более точный прогноз возможен. Уменьшить дисперсию при регистрации показателей возможно за счет рационального подбора датчиков с определенной погрешностью измерений. Вопрос о необходимости подбора датчиков для БСК с целью

получения требуемой достоверности прогноза наработки является одним из основных при разработке методики прогнозирования значений диагностических параметров АТ.

В связи с этим для определения степени влияния датчиков на прогноз наработки и подбора необходимого состава датчиков, позволяющих получать в конкретных условиях требуемую достоверность прогноза остаточной наработки, разрабатывалась модель оптимизации состава датчиков БСК.

В первую очередь при разработке модели оптимизации необходимо определить критерии, по которым она будет производиться. Для этого в работе рассматривалась АТ как сложная техническая система, контролируемая БСК с устройством регистрации данных о динамике значений диагностических параметров. Математически выражались вероятности событий, характеризующие возможные варианты работы датчиков и собственно вероятности возникновения отказов или неисправностей. После чего определялись критерии и была поставлена задача оптимизации. На завершающем этапе разрабатывалась имитационная модель оптимизации датчиков.

### ***6.3.1. Модель функционирования датчиков бортовой системы контроля АТ***

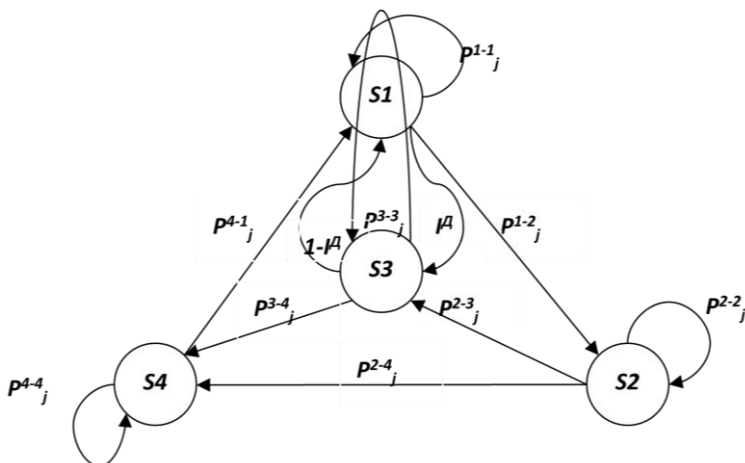
Рассмотрим сложную техническую систему (СТС), которая состоит из  $N$  элементов. Работоспособность СТС определяется состоянием элементов (рис. 6.7).

Нахождение элемента в одном из состояний определяется вероятностью перехода из одного состояния в другое ( $S_1 \rightarrow S_2 - P^{1-2}$ ,  $S_2 \rightarrow S_3 - P^{2-3}$ ), а также показателями, характеризующими точность определения этого перехода. Под показателем, характеризующим точность нахождения элемента в том или ином состоянии, будем понимать значение погрешности вероятности этого перехода ( $S_1 \rightarrow S_3 - I^1$ ,  $S_3 \rightarrow S_1 - (1 - I^1)$ ) [62].

Процессы  $S_3 \rightarrow S_4$  и  $S_4 \rightarrow S_1$  являются достоверными и зависят только от времени восстановления элемента ( $t_{\text{восст.}}$ ). На наш взгляд, для разработки модели целесообразно ввести показатель, характеризующий вероятность нахождения элемента СТС в состоянии технического воздействия. В общем виде для  $j$ -го элемента, входящего в состав СТС, эмпирическую вероятность перехода  $P_j$  из  $r$  состояния в  $l$  состояние можно определять по формуле

$$P_j^{r-l} = \frac{\sum_{i=1}^M k_{j,i}}{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M k_{j,i}},$$

где  $k_{j,i}$  – число  $j$ -х элементов, для которых выполняются  $i$ -е воздействия, ед;  
 $M$  – количество воздействий на  $j$ -й элемент за жизненный цикл СТС, ед;  
 $N$  – количество элементов в СТС, ед.



**Рис. 6.7.** Модель состояний элементов СТС: **S1** – исправное состояние элемента; **S2** – неисправное состояние элемента; **S3** – отказ элемента; **S4** – восстановление работоспособности элемента

Формула (6.10) позволяет найти вероятность нахождения  $j$ -го элемента в одном из состояний режима восстановления, отказа или неисправности. Исходными данными являются трудоемкости воздействий, направленных на восстановление исправных состояний по каждому элементу за весь жизненный цикл от начала эксплуатации.

Исходными являются статистические данные об отказах для  $j$ -х элементов СТС, полученные по результатам подконтрольной эксплуатации СТС; о периодичности и трудоемкости технических воздействий, таких как плановое восстановление работоспособности. По результатам расчетов по формуле (6.10) получаем эмпирическую вероятность нахождения элементов СТС в указанных состояниях (видах технического воздействия).



Измерение параметра технического состояния  $j$ -го элемента осуществляется соответствующими датчиками. Причем на значение диагностического параметра может влиять состояние как одного, так и нескольких элементов СТС одновременно. Рассмотрим влияние точности измерения датчиков на достоверность определения диагноза, и в соответствии с этим выразим вероятности указанных состояний СТС в целом.

Следует отметить, что под полнотой контроля понимается характеристика, определяющая возможность выявления отказов в объекте при выбранном методе его контроля и диагностирования. Точность измерения – это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины [70].

Пусть событие  $\mathbf{H}$  – это такое событие, при котором возникает отказ одного из элементов СТС. Допустим, что СТС оснащена датчиками, которые измеряют значения контролируемых параметров, причем взаимосвязь каждого датчика и элемента количественно выражена в доле оценки датчиком  $j$ -го элемента. То есть принимаем, что в этом случае доля оценки датчика состояния элемента равна вероятности этой оценки, но только в том случае, когда датчик с вероятностью единица определяет возникающий отказ.

Рассмотрим состояния, характеризующие датчики в СТС. Пусть два датчика контролируют 3 объекта контроля (элемента СТС) (рис. 6.8).

Пусть событие  $\mathbf{H}_+$  заключается в том, что хотя бы один датчик фиксирует неисправность элемента при условии, что хотя бы один элемент неисправен, соответственно вероятность данного события –  $q_+$ . Второе событие  $\mathbf{H}_-$ , заключающееся в том, что хотя бы один элемент СТС неисправен, при условии, что хотя бы один датчик ее не фиксирует и соответственно вероятность данного события –  $q_-$ . Эти события независимые.

Следует отметить, что на событие  $\mathbf{H}_-$  влияет и состояние датчика, характеризующееся своей погрешностью (точностью) измерений, причем рассмотрим события, связанные с работой датчика. Рассмотрим события  $\mathbf{H}_+$  и  $\mathbf{H}_-$  более подробно, для чего обозначим события, характеризующиеся всеми возможными комбинациями работы датчика. Пусть событие  $\mathbf{X}$  – такое событие, при котором датчик фиксирует отказ, а  $\mathbf{Y}$  – событие, при котором датчик не фиксирует отказ.

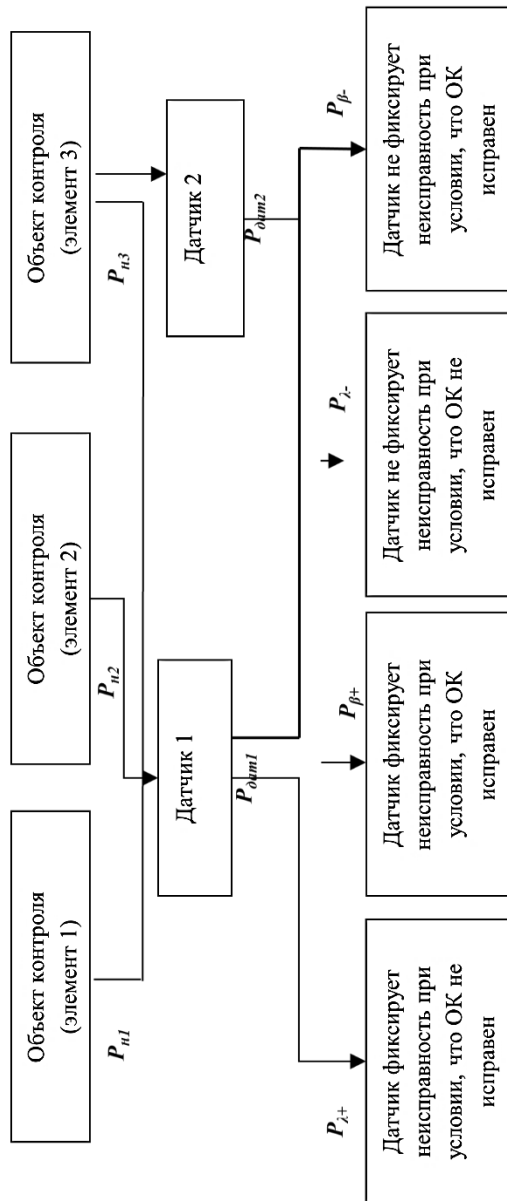


Рис. 6.8. Схема регистрации состояний элементов в СТС – датчиками

Итак, событие  $\lambda_+$  – датчик фиксирует неисправность при условии, что ОК неисправен,  $\beta_+$  – датчик фиксирует неисправность, при условии, что ОК исправен,  $\lambda_-$  – датчик не фиксирует неисправность при условии, что ОК неисправен,  $\beta_-$  – датчик не фиксирует неисправность при условии, что ОК исправен. Применив терминологию теории вероятностей, получим соответствующие событиям вероятности –  $P_{\lambda_+}$ ,  $P_{\beta_+}$ ,  $P_{\lambda_-}$ ,  $P_{\beta_-}$ . Выразим эти вероятности с помощью формулы Байеса:

$$P_{\lambda_+} = P(X/H) = \frac{P(X) \cdot P(H/X)}{P(X) \cdot P(H/X) + P(\bar{X}) \cdot P(H/\bar{X})},$$

$$P_{\beta_+} = 1 - P_{\lambda_+}, \quad (6.11)$$

$$P_{\lambda_-} = P(Y/H) = \frac{P(Y) \cdot P(H/Y)}{P(Y) \cdot P(H/Y) + P(\bar{Y}) \cdot P(H/\bar{Y})},$$

$$P_{\beta_-} = 1 - P_{\lambda_-}.$$

Как правило, при контроле СТС используются несколько датчиков, осуществляющих измерение соответствующих параметров, причем количество элементов, влияющих на изменения их значений, значительно больше. Воспользуемся формулой полной вероятности и выразим вероятность  $q_+$ , характеризующую событие  $H_+$ , которое заключается в том, что элемент неисправен при условии, что хотя бы один из  $n$  датчиков фиксирует эту неисправность (имеются в виду датчики, контролирурующие данный элемент):

$$q_+ = P(H_+) = 1 - \bar{P}_{1,\lambda_+} \cdot \bar{P}_{2,\lambda_+} \times \dots \times \bar{P}_{n,\lambda_+} = 1 - \prod_{i=1}^n P_{i,\beta_+}, \quad (6.12)$$

где  $\bar{P}_{i,\lambda_+}$  – вероятность события, при котором объект контроля неисправен при условии, что  $i$ -й датчик фиксирует неисправность ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ );  $P_{i,\beta_+}$  – вероятность события, при котором объект контроля исправен при условии, что  $i$ -й датчик фиксирует неисправность;  $n$  – число датчиков, контролирующих элемент СТС.

Таким образом, полученное выражение (6.12) характеризует вероятность события  $H_+$ . Из выражения (6.12) следует, что вероятность события  $H_+$  формируется из всех возможных вариантов фиксации отказа датчиками от первого до  $n$ . При определенных условиях вероятность события  $q_+$

может быть равна или даже может превышать вероятность **H**-перехода элемента СТС в неисправное состояние. Именно при таком равенстве  $q_+ = P_{\mathbf{H}}$  будет достигаться наилучшая оценка датчиками нахождения в неисправном состоянии **j**-го элемента. В случае, когда  $q_+ > P(\mathbf{H})$ , можно сделать вывод о том, что элемент СТС контролируется большим необходимым количества датчиков. Также немаловажным является и событие **H**, заключающееся в том, что хотя бы один элемент СТС неисправнее при условии, что хотя бы один датчик не зафиксирует этого неисправного состояния. По формуле условной вероятности Байеса выразим события для данного случая:

$$q_- = P(H_-) = P(H/Y) = \frac{P(Y/H) \cdot P(H)}{P(Y/H) \cdot P(H) + P(Y/\bar{H}) \cdot P(\bar{H})}. \quad (6.13)$$

Полученные выражения (6.12) и (6.13) характеризуют события **H**<sub>+</sub> и **H**<sub>-</sub> для **j**-го элемента. Необходимо выразить совокупность выше рассмотренных событий для СТС в целом, выполнив следующие преобразования:

$$Q_+ = 1 - (1 - q_{1,+}) \cdot (1 - q_{2,+}) \times \dots \times (1 - q_{n,+}) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_{i,+}), \quad (6.14)$$

$$Q_- = 1 - (1 - q_{1,-}) \cdot (1 - q_{2,-}) \times \dots \times (1 - q_{n,-}) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_{i,-}), \quad (6.15)$$

где **Q**<sub>+</sub> – вероятность события, при котором хотя бы один датчик фиксирует неисправное состояние хотя бы одного элемента из СТС при условии, что этот элемент действительно неисправен; **Q**<sub>-</sub> – вероятность события, при котором хотя бы один элемент из СТС неисправен и при условии, что хотя бы один датчик это состояние не фиксирует.

Таким образом, математические зависимости (6.14), (6.15) характеризуют вероятностные состояния датчиков в СТС и позволяют определять как полноту контроля датчиками (вероятность фиксации неисправности датчиками при условии, что она есть), так и их точность, которая характеризуется вероятностью необнаруженного отказа при его наличии, в то время как датчики его не фиксируют. Математическая модель разработана для события, заключающегося в переходе СТС из исправного в неисправное состояние. Кроме того, модель является достаточно универсальной, так как она описывает любые состояния, характерные элементам СТС, такие

как нахождение в состоянии технического воздействия, работоспособное состояние, исправное состояние, неработоспособное состояние. Изменяя исходные данные, характеризующие приведенные выше состояния, можно определить вероятности нахождения элементов в состоянии технического воздействия, работоспособном состоянии, исправном состоянии, неработоспособном состоянии.

### 6.3.2. Постановка задачи оптимизации состава датчиков бортовой системы контроля АТ

Переход деталей, узлов, агрегатов, систем АТ из исправного в неисправное состояние можно определять из анализа подмножеств диагностических показателей, которые в свою очередь непосредственно зависят от полноты и точности контроля датчиками вышеперечисленных элементов ( $Q_+$  и  $Q_-$ ) [50].

Увеличивая число датчиков контроля  $n_j$  для  $j$ -го элемента, входящего в СТС (АТ), соответственно получаем изменения вероятностей  $\Delta Q_+$  и  $\Delta Q_-$ , характеризуемых изменениями  $q_+$  и  $q_-$  от использования большего числа датчиков. Математически это можно выразить следующим образом:  $n_j \rightarrow \max, Q_+ \rightarrow \max, Q_- \rightarrow \min$ . Однако необходимо учитывать стоимость датчиков  $C$  при увеличении точности диагностирования.

Задача оптимизации состава датчиков для БСК в данном случае может быть записана в следующем виде:

$$\begin{cases} Q_+ \rightarrow \max, \\ Q_- \rightarrow \min, \\ C \leq C_{\text{зад.}}, \end{cases} \quad (6.16)$$

где  $Q_+$  – вероятность события, при котором хотя бы один датчик фиксирует неисправное состояние хотя бы одного элемента из СТС при условии, что этот элемент действительно неисправен;  $Q_-$  – вероятность события, при котором хотя бы один элемент из СТС неисправен и при условии, что хотя бы один датчик это состояние не фиксирует;  $C$  – затраты на состав датчиков, руб.;  $C_{\text{зад.}}$  – заданные затраты на состав датчиков, руб.

Задача оптимизации состава датчиков БСК может быть выражена и в другом виде:

$$\begin{cases} Q_+ \geq Q_{+зад.}, \\ Q_- \leq Q_{-зад.}, \end{cases} \quad (6.17)$$
$$C \rightarrow \min,$$

где  $Q_{+зад.}$  – заданная вероятность события, при котором хотя бы один датчик фиксирует неисправное состояние хотя бы одного элемента из СТС при условии, что этот элемент действительно неисправен;  $Q_{-зад.}$  – заданная вероятность события, при котором хотя бы один элемент из СТС неисправен и при условии, что хотя бы один датчик это состояние не фиксирует.

Затраты на состав датчиков, на наш взгляд, целесообразно сравнивать с затратами на плановые технические диагностирования, контрольные осмотры, технические обслуживания и текущие ремонты на протяжении всего жизненного цикла с момента начала эксплуатации.

Таким образом, задачи оптимизации (6.16) и (6.17) позволяют определять наилучшие комбинации датчиков для контроля параметров АТ (СТС), исходя из критериев стоимости или полноты и точности контроля.

### ***6.3.3. Имитационная модель оптимизации состава датчиков бортовой системы контроля АТ***

Задачи оптимизации (6.16, 6.17) возможно решать различными способами моделирования. Однако определяющими в выборе метода моделирования являются возможности исследователя в реализации поставленной задачи.

Для решения, например, задачи оптимизации (6.16) необходимо на протяжении длительной подконтрольной эксплуатации СТС осуществлять контроль параметров технического состояния и периодически испытывать датчики на предмет погрешности измерений. При этом важным является событие, при котором возникнет отказ элемента, контролируемого датчиком, и соответствующая характеристика датчика. На основе этого будет возможно определять вероятности событий  $Q_+$ ,  $Q_-$ . Следовательно, для исследователя представляет большую трудность такого рода испытания ввиду ожидания отказа элемента СТС.

Так как иные способы оптимизации являются более затратными, то в исследовании было выбрано имитационное моделирование, позволяющее производить оценку значений полноты и точности контроля датчиков БСК от их стоимости и получать результаты расчета для принятия решения

по комплектации требуемого состава датчиков. Имитационная модель основывалась в основном на теории вероятностей.

Разработанный алгоритм имитационной модели представлен на рис. 6.9. Для выполнения моделирования необходимо сформировать базу данных. Блок 1 (рис. 6.9) задает режимы вычислений. Первый режим вычисления позволяет вводить данные о выборе расчетного ресурса эксплуатации АТ в километрах и задавать материальные средства для расчета в рублях (блок 3). Второй режим вычисления позволяет вводить в базу данных характеристики датчиков, такие как стоимость, погрешность измерения, и выбирать участие необходимых датчиков при проведении расчетов (блок 4). Третий режим вычисления позволяет задавать данные о контролируемых элементах АТ, их наименования, степени влияния на величину параметра, регистрируемого датчиком (блок 5). Таким образом, осуществляется взаимосвязь элемента, системы, агрегата, узла АТ со степенью контроля их датчиками. Четвертый режим вычисления (блок 6) позволяет вводить в базу данных виды и периодичность технических воздействий на элементы из блока 5. Пятый режим вычисления позволяет вводить данные о трудоемкостях технических воздействий и специалистах, их выполняющих (блок 7). Шестой режим вычислений позволяет вводить данные о стоимости работы специалиста за 1 час. Седьмой режим предусматривает расчет оптимального количества датчиков от стоимости, выделяемой на их состав (блок 10). Данный расчет производится с использованием выражения (18) методом перебора всех возможных вариантов с участием выбранных датчиков в блоке 4 и сформированных связей в базе данных. Результаты расчета должны представляться в графическом виде.

Для работы блока 10 производится расчет (блок 11) вероятности нахождения элемента в состоянии технического воздействия за выбранный ресурс (в блоке 3). В качестве показателя, характеризующего вероятность нахождения элемента системы, узла, агрегата АТ в неработоспособном (неисправном) состоянии, принимаем суммарные трудозатраты по воздействиям для этого элемента за планируемый период эксплуатации, направленные на предотвращение возникновения отказов и неисправностей. Под видом воздействия понимается плановое или внеплановое техническое воздействие, направленное на устранение последствий отказа (неисправности) элемента, предупреждение отказа и прогнозирование изменения технического состояния элемента и СТС в целом. К видам воздействия, направленным на предупреждение отказов, относятся: контрольный осмотр, ежедневное

техническое обслуживание, контрольно-технический осмотр, техническое диагностирование, техническое обслуживание №1, №2. Таким образом, используя данные завода-изготовителя автомобилей по вопросам рекомендованных периодичности и перечня операций технических воздействий, документов, определяющих периодичность видов технических воздействий, а также используя данные о трудоемкостях технических воздействий, установленных руководствами по эксплуатации, следует определять вероятность нахождения элементов в неработоспособном (неисправном) состоянии по формуле (6.12).

В блоке 12 производится расчет и сравнение стоимости плановых технических воздействий для АТ и затрат на модернизацию датчиков, а также период окупаемости. Блок 13 предусматривает выдачу в удобном виде результатов расчета. Блок 14 формирует массив расчетных показателей.

Таким образом, алгоритм имитационной модели оптимизации датчиков БСК реализует математический аппарат, разработанный в пп. 6.3.1 и 6.3.2, и позволяет, исходя из требуемой стоимости или полноты и точности контроля, получать необходимый состав датчиков в конкретных условиях.

В ходе исследований методики прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании бортовых систем контроля получены следующие результаты:

- приведена целевая функция поддержания работоспособности АТ при использовании бортовой системы контроля и устройства регистрации данных, определяющая влияние множеств показателей различного рода на коэффициент технической готовности парка автомобилей. Важным моментом при поддержании работоспособности АТ является принятие решения о необходимости проведения технического воздействия на основе количественной оценки множества реализаций параметров и прогнозирования изменения их значений;

- описана модель прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании бортовой системы контроля с устройством регистрации данных, которая позволяет в любой момент времени рассчитывать необходимые показатели по динамике их изменения в предстоящий период использования с оценкой достоверности прогноза и влияния на нее погрешностей датчиков. По результатам расчетов следует планировать и проводить технические воздействия для АТ, направленные на предупреждение возникновения неисправных состояний и отказов;



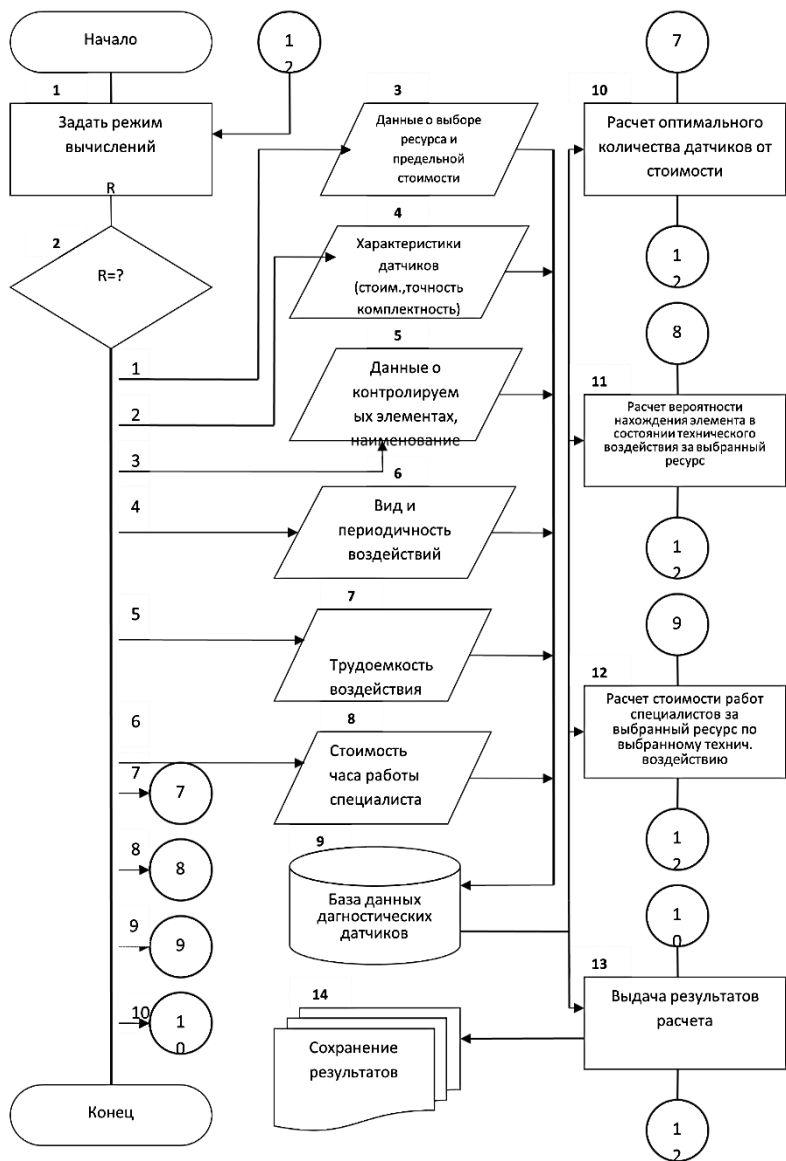


Рис. 6.9. Алгоритм имитационной модели оптимизации состава датчиков для бортовых систем контроля АТ

– показана методика прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании бортового контроля и устройства регистрации данных за счет использования алгоритма, позволяющего автомобильной службе рационально планировать технические воздействия на основе данных о динамике изменения диагностических параметров. В алгоритме в качестве критерия оценки степени влияния погрешностей датчиков на величину прогноза наработки выбраны частные коэффициенты эластичности, которые, на наш взгляд, позволят математически характеризовать важность результатов измерений как показателей на величину отклика, так и собственно погрешностей датчиков;

– теоретически предположено, что при определении прогноза технического состояния узла, агрегата АТ или элемента любой сложной технической системы вопрос влияния точности и полноты контроля датчиками является основополагающим при расчете прогнозируемой наработки до достижения параметром своего предельного значения. В соответствии с этим сформулированы задачи оптимизации состава датчиков для БСК АТ;

– приведена имитационная модель оптимизации состава датчиков для бортовых систем контроля АТ по критериям стоимости датчиков, их точности и полноте контроля, позволяющая математически рассчитать требуемые комбинации состава датчиков по выбранным критериям и принятым ограничениям. Актуальность модели заключается в использовании универсального показателя, характеризующего нахождение составляющих элементов систем, узлов и агрегатов АТ в состоянии планового технического воздействия за выбранную наработку в сравнении с остальными элементами.

### **Контрольные вопросы**

1. Особенности алгоритма методики прогноза диагностических параметров автомобильной техники.
2. Охарактеризуйте имитационную модель оптимизации системы датчиков.

## **7. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ МОНИТОРИНГОВЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ, КОНТРОЛЯ, ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ, АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОНОМНЫХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, ЦИФРОВЫХ И БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Анализ современного состояния проблем в области бортовой радиоэлектроники, автоматики и систем управления морской, авиационной и ракетно-космической техники, а также многолетний опыт практического сотрудничества с рядом российских авиационных и ракетно-космических предприятий позволяют сделать неутешительные выводы о том, что развитие отечественной бортовой радиоэлектроники и автоматики остановилось в основном на уровне 70–80-х гг. Действительно, подавляющее большинство авиационных систем управления построено на принципах так называемой релейной автоматики. Такие комплексы уступают иностранным аналогам не только по функционально-техническим характеристикам, но и в части надежностных и массогабаритных параметров. Можно выделить три основные причины, приведшие к этому катастрофическому отставанию:

1. Недостаточное, вплоть до полного отсутствия, финансирование работ в области бортовой радиоэлектроники на протяжении длительного промежутка времени с конца 80-х гг. прошлого века и до начала 2000-х гг.
2. Устаревшая нормативно-техническая база отраслевых стандартов (большинство стандартов было выпущено в тех же 70–80-х гг.).
3. Продолжающееся десятилетиями значительное отставание отечественной электронной элементной базы от зарубежных аналогов практически по всем технико-экономическим параметрам.

Причем вторая причина, подкрепленная бюрократизмом и формализмом представителей различных контролирующих организаций, является источником серьезных, а зачастую и непреодолимых барьеров на пути внедрения современной бортовой радиоэлектроники и по настоящее время, несмотря на активную финансовую поддержку авиационно-космической

отрасли со стороны государства, осуществляемую в течение последних нескольких лет. Есть множество конкретных примеров, подтверждающих вышеизложенное. Так, например, до сих пор, в том числе и в новых разработках, отправляемых на экспорт, в авиационных панелях индикации и сигнализации в кабине пилота для подсветки табло применяют лампы накаливания, а не светодиоды, несмотря на то, что последние превосходят лампы по всем показателям (долговечности, виброустойчивости, энергопотреблению). Аналогичная ситуация с релейными элементами блоков коммутации в системах управления, в качестве которых и в настоящее время, как и двадцать лет назад, применяются в основном электромеханические реле по той причине, что использование твердотельных реле, несмотря на их явное преимущество (высокий КПД, лучшие массогабаритные параметры, устойчивость к механическим воздействиям, долговечность и пр.) не регламентировано отраслевыми нормативно-техническими стандартами. Существующие стандарты накладывают ограничения не только на используемую элементную базу, но и косвенно на принципы построения систем. Анализ существующей организации обмена информацией между блоками и системами бортового радиоэлектронного оборудования показывает, что подавляющее большинство передаваемых сигналов представлены в дискретной форме (в виде разовых команд) и частично в аналоговом виде и лишь единицы отдельных бортовых систем оперирует цифровыми сигналами. Таким образом, можно сделать вывод о существенном отставании и неоптимальном подходе в организации обмена информацией с точки зрения количества коммутационных линий, их помехоустойчивости и быстродействия. Причины кроются опять же в нормативно-технической документации. Дело в том, что дискретные и аналоговые сигналы достаточно хорошо стандартизованы, в то время как в России существует по сути лишь один «узаконенный» цифровой протокол, описанный в документе РТМ-1495-75 1975 г. Этот протокол фактически является аналогом иностранного стандарта ARINC, который практически по всем основным параметрам уступает современным технологиям типа CAN, ETHERNET и пр.

С первого взгляда может показаться, что для решения указанной проблемы достаточно с помощью соответствующих стандартов создать реально работающий механизм допуска к применению современной элементной базы, а также современных цифровых технологий, и на основании

этого провести модернизацию существующих бортовых систем. Тем не менее данный шаг является необходимым, но недостаточным для того, чтобы не только в данный момент, но и в ближайшем будущем обеспечить выпуск конкурентоспособной на мировом рынке продукции с высокими техническими характеристиками. Действительно, обеспечив внедрение проверенных современных технологий, мы всегда минимум на один шаг будем отставать от текущего научно-технического прогресса. Для комплексного решения проблемы необходимо обеспечить не только внедрение современных концепций, технологий и элементной базы, но и проведение комплекса исследований с последующим апробированием на практике перспективных принципов построения радиоэлектроники, систем сбора информации и управления с одновременной соответствующей переработкой и обновлением нормативно-технического обеспечения.

Одним из наиболее перспективных направлений исследования в приоритетной области развития «Морская, авиационная и ракетно-космическая техника, радиотехника, автоматика и управление» в сфере разработки бортовой радиоэлектроники в настоящее время является создание концепции построения информационно-управляющих систем с распределенной сетевой архитектурой на базе мультисенсорных интеллектуальных датчиков с использованием автономных режимов функционирования, цифровых и беспроводных технологий обмена информацией, передачи данных и управления.

## **7.1. Описание предметной области исследования**

В настоящее время современные информационно-управляющие системы, а также их составные части строятся на основе классических структур, подразумевающих использование комплектов датчиков совместно с центральным блоком (сервером), осуществляющим сбор данных от датчиков, обработку информации, расчет и выдачу управляющих воздействий (рис. 7.1). Такая централизованная структура имеет существенный недостаток – невысокая надежность системы, содержащей разветвленную коммутационную сеть с избытком контактов и релейных переключателей, напрямую зависящая от надежности центрального блока и коммутационных линий, причем повышать надежность системы можно лишь путем

резервирования, что в любом случае негативно сказывается на массогабаритных и энергетических характеристиках. Тем не менее до недавнего времени такая классическая структура была не только оптимальной, но и единственно технически возможной. Это связано с тем, что существующие до недавнего времени датчики представляли собой простейшие по функциональным возможностям устройства, осуществляющие преобразование измеряемой физической величины в электрический сигнал ( $U$ ,  $I$ ,  $R$ ,  $f$ ), и, в силу своей невысокой технической и интеллектуальной оснащенности, не были способны решать какие-либо другие, более сложные задачи.

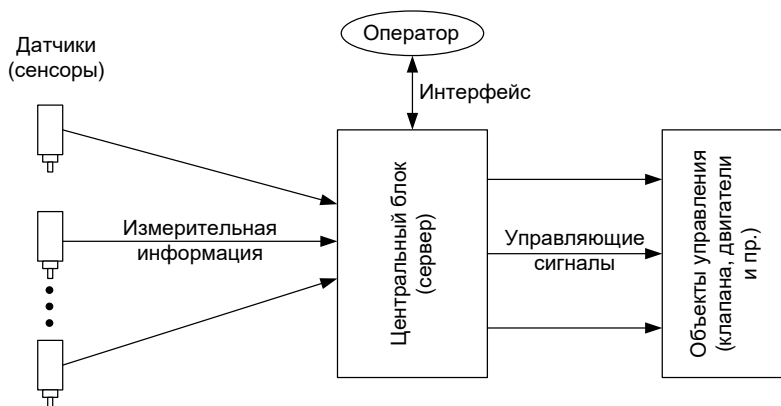


Рис. 7.1. Классическая структура системы сбора информации и управления

В настоящий момент, благодаря бурному развитию микропроцессорных и коммуникационных технологий и появлению на рынке соответствующей элементной базы, подавляющее большинство вновь разрабатываемых современных датчиков содержит микропроцессорные и коммуникационные элементы, а также, как правило, содержит несколько разнородных по измеряемой физической величине сенсорных элементов, что дает им возможность выполнять дополнительные, более сложные функции, в том числе одновременное измерение нескольких физических величин. Такие устройства называют мультисенсорными интеллектуальными датчиками (МИД). Внедрение МИД в инженерную практику позволяет решать задачи управления на основе альтернативных (отличных от классической) структур систем автоматического управления (САУ). Тем не менее

классическая (централизованная) структура САУ продолжает пользоваться определенной популярностью вследствие отсутствия известных, апробированных на практике принципов построения альтернативных информационно-управляющих систем.

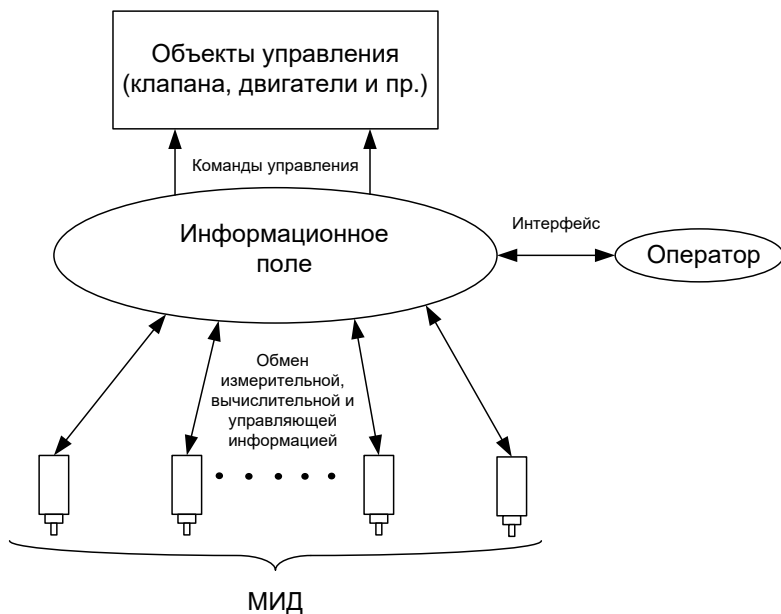
Проблема эффективного использования ресурсов МИД особенно в сложных технических системах (СТС), содержащих десятки, сотни, а порой и тысячи датчиков, является очень актуальной, но мало изученной. Тем не менее к настоящему моменту суммарные ресурсы МИД в системах стали настолько значительными, что позволяют строить САУ без использования централизованных вычислительных мощностей. Решение данной задачи, обеспечивающее устранение сложных, наиболее тяжелых и габаритных центральных блоков сбора и обработки информации из структуры САУ, с целью повышения надежности, отказоустойчивости и улучшения массогабаритных характеристик САУ позволит:

- расширить круг решаемых МИД задач, в частности, по совместному анализу, верификации и валидации совокупной информации и по принятию решений за счет использования объединенных интеллектуальных ресурсов МИД;
- более эффективно использовать имеющиеся вычислительные, коммуникационные и энергетические ресурсы САУ за счет возможности решения дополнительных динамически перераспределяемых задач;
- повысить устойчивость функционирования САУ в жестких условиях эксплуатации при комплексном воздействии внешних возмущающих факторов за счет децентрализации управления и гибкой реконфигурации в реальных условиях;
- оптимизировать структуру системы в целом с точки зрения количества и типов используемых устройств за счет исключения центрального управляющего устройства;
- существенно сократить количество, длину и общий вес коммуникационных линий;
- существенно повысить живучесть и боеготовность объекта в целом.

Концепция распределенной информационно-вычислительной сети на основе МИД предполагает объединение вычислительных, коммуникационных и информационных ресурсов МИД для обеспечения совместного

измерения параметров системы, обработки измерительной информации и принятия управляющих решений в зависимости от возникающих ситуаций, взаимной валидации и верификации полученной информации с целью корректировки и предупреждения отказов, повышения общей живучести системы, оперативного перераспределения вычислительных и измерительных функций с целью повышения быстродействия системы, рационального использования энергетических ресурсов, возможности реализации сложных алгоритмов обработки многофакторных сигналов. Данный подход позволит исключить из структуры бортовой информационно-управляющей системы центральный блок (сервер), на порядки сократить коммуникационную сеть и решать задачи управления путем использования вычислительных и коммуникационных ресурсов в распределенной сети МИД.

Обобщенная структура интеллектуальной распределенной мультисенсорной системы сбора информации и управления представлена на рис. 7.2.



**Рис. 7.2.** Обобщенная структура интеллектуальной распределенной мультисенсорной системы сбора информации и управления



Основными составляющими интеллектуальной распределенной мультисенсорной системы (ИРМС) являются следующие структурные элементы. Базовыми элементами структуры являются **мультисенсорные интеллектуальные датчики**, реализующие измерения различных физических величин, полную обработку измеренной информации, а также выполнение вычислительных и логических операций с целью формирования управляющих команд. **Объекты управления** должны быть снабжены узлами приема и преобразования управляющих команд в силовые сигналы. **Информационное поле**, обеспечивающее обмен данным между узлами системы, реализуется на основе современных цифровых коммуникационных технологий, поддерживающих широковещательные сообщения в режиме «мультимастер» (классическими примерами такой технологии для проводной реализации является стандарт CAN, а для беспроводной реализации – стандарт ZigBee). **Взаимодействие (интерфейс) с оператором** реализуется с помощью устройства, обеспечивающего выбор, дешифровку и отображение данных из информационного поля, а также передачу команд (уставок) оператора в информационное поле системы.

Общие принципы функционирования ИРМС следующие: МИД производят измерения физических величин, обработку и преобразование измерительной информации. Оператор, при необходимости, оказывает на систему управляющие воздействия путем передачи корректирующей информации в информационное поле. Затем, на основании измерительной информации и управляющих воздействий оператора с помощью алгоритмов группового взаимодействия, с учетом установленных ограничений по времени и энергопотреблению отдельных узлов (в случае автономного функционирования), производятся вычисления и логическая обработка измерительной информации с целью формирования управляющей команды. Управляющая команда поступает в узел сопряжения объекта управления и преобразуется в силовой управляющий сигнал, осуществляющий изменение состояния объекта управления.

## 7.2. Современное состояние проблемы

Понятие распределенных (децентрализованных) систем является не новым понятием. Толчком к изучению такого класса систем послужило бурное развитие технологии World Wide Web. В настоящее время существует

достаточное количество научных работ, посвященных изучению тех или иных свойств распределенных систем. В качестве примера можно привести фундаментальный труд коллектива ученых университета Врие в Амстердаме, возглавляемого профессором Эндрю С. Таненбаумом, «Распределенные системы. Принципы и парадигмы». Эта книга содержит детальное описание всех основных аспектов распределенных систем (взаимодействия, процессы, именованя, непротиворечивость и репликация, отказоустойчивость, защита и пр.) Тем не менее необходимо отметить что, как правило, все исследования в данной области проводились с учетом того, что в узлах распределенных систем находились мощные вычислители (компьютеры), поэтому, в случае использования в качестве узлов распределенных систем МИД, необходимо проводить пересмотр концепции построения и адаптации ряда основополагающих принципов.

Стоит также заметить, что в последнее время появляется все больше публикаций, посвященных созданию сенсорных беспроводных сетей, хотя до коммерческого внедрения этой технологии еще далеко по ряду объективных причин. Кроме того, необходимо понимать, что сенсорная сеть в данный момент, как правило, воспринимается в качестве мощной распределенной подсистемы очувствления для центрального вычислителя. Так, по мнению специалистов исследовательской лаборатории Intel в Калифорнийском университете в Беркли (США), главное предназначение сенсорных сетей – восприятие и передача полезной информации. В то же время реально существуют все технические предпосылки наделить эту сеть функциями интеллектуального вычисления и управления. Этот вывод подтверждается публикациями английских ученых, посвященных интеллектуальным датчиками и сетям на их основе (Mekid S. Further Structural Intelligence For Sensor Cluster Technology in Manufacturing).

Таким образом, несмотря на то, что разработка и создание интеллектуальных распределенных мультисенсорных систем является перспективным направлением в создании бортовой (и не только) радиоэлектроники и объективно существует элементная база, позволяющая создавать такого класса системы, в настоящее время отсутствуют теоретические основы и практические рекомендации к применению, позволяющие разрабатывать такого рода информационно-управляющие системы с учетом известных еще из классической теории автоматического управления ключевых параметров САУ (устойчивость, наблюдаемость, транспортное запаздывание и пр.).

### **7.3. Выбор и обоснование приоритетных направлений исследования**

Проведение исследований в рамках рассматриваемой области с целью разработки обобщенной концепции построения интеллектуальных распределенных мультисенсорных мониторинговых систем требует проведения работ одновременно в нескольких наиболее важных направлениях:

1. Исследовательские работы, направленные на формирование принципов, методов и алгоритмов организации информационно-управляющих сетей интеллектуальных датчиков, обеспечивающих решение задач измерения, обработки информации и управления в сложных информационно-управляющих бортовых системах. Для решения этой задачи предполагается использовать принципы коллективного взаимодействия и децентрализованной организации обработки информации в многопроцессорных вычислительных системах, разрабатываемые в настоящее время в ходе выполнения работ по гранту РФФИ № 08-08-00920-а, и использовать современные подходы к организации одноранговых сетей, адаптировав их к данной предметной области, а также разработать новые алгоритмы, расширяющие функциональные возможности МИД по совместной (групповой) обработке информации. Указанные принципы и подходы предполагают представление общей решаемой задачи в виде ациклического графа, узлы которого представляют собой вычисления (подзадачи), а дуги – передачу данных между ними. Разрабатываемые в ходе выполнения работ по гранту РФФИ № 08-08-00920-а методы и алгоритмы позволяют оптимизировать размещение вычислений на распределенных вычислительных ресурсах относительно выбранного параметра (например, времени решения задачи или энергопотребления отдельных узлов).

2. Исследовательские работы, направленные на решение проблем в сфере организации беспроводных взаимосвязанных распределенных датчиковых сетей.

Беспроводные датчиковые сети обладают некоторой спецификой. Развертывание и техническое обслуживание таких сетей существенно отличается от применения других широко распространенных сетевых технологий. Необходимо учитывать эти специфические характеристики, чтобы упростить процесс разработки инженерного решения. Ниже дается краткое описание основных проблем разворачивания беспроводных датчиковых сетей.

*Масштабирование.* Количество датчиковых узлов в разворачиваемой системе может исчисляться тысячами и даже миллионами штук, вызовет потребность в организации совершенно иного управления сетью. Это обстоятельство существенно отразится на техническом обслуживании и неизбежно повлечет за собой использование новых средств диагностики.

*Отказоустойчивость.* Поскольку датчики располагаются в разных местах объекта, в том числе и вне жилых отсеков, они работают в жестких условиях эксплуатации. Требуется такая конфигурация, при которой сеть продолжит свою работу, даже если один или более узлов выйдет из строя.

*Локализация.* В некоторых приложениях датчики устанавливаются на объекте случайным образом, и потому требуется предусмотреть возможность определить их расположение относительно друг друга.

*Выбор маршрута.* В традиционных схемах выбора маршрута не учитывается вопрос экономии электроэнергии и эффективной обработки данных, и потому такие решения не используются в датчиковых сетях. Необходимо добиться того, чтобы длина маршрута была минимальной, и он активировался только в случае необходимости.

*Энергосбережение.* Вопрос эффективности использования энергии является очень важным, поскольку датчиковые узлы снабжены маломощным источником питания с ограниченным ресурсом. В редких сетях имеется возможность подключить устройство к розетке электропитания. Существуют программные решения, позволяющие оптимизировать потребление устройств за счет режима экономии электроэнергии. Преимущество этих решений состоит в использовании аппаратных возможностей существующих интеллектуальных сенсорных чипов.

Факторы, которые необходимо учитывать в процессе выбора платформы, следующие: физический уровень, мощность передатчика, тип антенны, канальный, сетевой и транспортный уровни.

*Физический уровень.* В настоящий момент наиболее распространены в сфере датчиковых сетей являются устройства, совместимые со стандартом IEEE 802.15.4. Обычно производители предлагают ВЧ-чипы или укомплектованные ВЧ-модули с этими кристаллами, антенной и соответствующей обвязкой. Эти модули достаточно хорошо встраиваются в печатную плату, позволяют сэкономить время и облегчить труд разработчика. Модули различаются по величине мощности передатчика и типу антенны.

*Мощность передатчика.* Некоторые устройства представляют собой стандартные и высокоомощные модули. Стандартные модули, разработанные по технологии IEEE 802.15.4, способны покрыть расстояние до 100 м. Высокомощные модули обладают намного большей мощностью и покрывают расстояние в 5...6 раз больше, чем стандартные устройства. В зависимости от конструкции объекта и условий видимости, покрытие высокоомощных модулей может достигать 500 м и более.

*Тип антенны.* Встроенная антенна представляет собой небольшой кристалл, смонтированный непосредственно на печатной плате модуля. Этот тип антенны занимает меньшее место, но предъявляет больше требований к окружающим поверхностям и в некоторых случаях не обеспечивает достаточной мощности для используемого приложения. Другая антенна является внешней, представляет собой отдельный блок и подсоединяется к модулю через ВЧ-разъем, например SMA.

*Канальный уровень.* Канальный уровень состоит из MAC- и LLC-подуровней. В приложениях стандарта IEEE 802.15.4 в действительности важен MAC-подуровень, отвечающий за следующие функции:

- установка связи устройств с сетью и отсоединение от нее;
- обеспечение контроля над доступом к каналам, используемым различными устройствами в сети;
- генерация кадров «неисправность»;
- управление тайм-слотом.

*Сетевой и транспортный уровни.* Сетевой и транспортный уровни в конфигурациях рассматриваемых беспроводных датчиковых сетей используют технологии ZigBee и Z-wave, несколько других более новых технологий, а также менее применяемых альтернативных методов.

Наивысший уровень – приложение, а самый низкий – физический/канальный уровень. Стек ZigBee находится посередине и отвечает за структуру сети, безопасность и выбор маршрута. Следует заметить, что в спецификации ZigBee, предлагаемой для загрузки компаниям и частным лицам, также указываются профили приложения для ZigBee-устройств.

ZigBee-профиль является описанием типов устройств и интерфейсов, необходимых для конкретного приложения. Это серьезная попытка стандартизировать будущие предложения продуктов от разных производителей.

Одной из наиболее существенных частей ПО в беспроводной датчиковой сети является программный стек ZigBee. Компания Texas Instruments предлагает бесплатную версию этого стека под названием Z-Stack. Он соответствует требованиям спецификации ZigBee 2006 и совместим с некоторыми платформами.

**Z-wave.** Это технология датско-американской компании Zensys, которая занимается разработкой протоколов и поставками однокристалльных решений, а также комплектов для разработки. Эта более «легкая» технология по части программного и аппаратного обеспечения в первую очередь предназначена для систем управления «цифровым домом».

В состав Альянса Z-wave входит множество компаний. Эта технология использует особый MAC-уровень, протокол передачи и выбора маршрута. Спецификация класса устройств обеспечивает возможность взаимодействия между ними. Контроллеры, подчиненные узлы с маршрутизацией и подчиненные узлы поддерживаются в смешанной сети.

3. Исследовательские работы, направленные на проработку вариантов построения автономных источников питания для последующей интеграции в датчиковую аппаратуру.

Ключевым фактором, позволяющим реализовать технологию беспроводных распределенных систем МИД, является возможность обеспечения режимов автономного питания МИД. Организация автономной работы возможна только путем оснащения МИД индивидуальными источниками тока с одновременным внедрением высокоэффективных схем управления питанием. В настоящее время отсутствуют промышленные образцы миниатюрных источников тока, способные обеспечить автономное питание МИД. Тем не менее ряд лабораторий мира ведут работы по созданию таких источников питания, и уже имеется информация об изготовлении первых прототипов. Краткий анализ возможных вариантов реализации автономных источников тока приведен ниже.

Источники тока (устройства, преобразующие различные виды энергии в электрическую) по виду преобразуемой энергии условно можно разделить на химические и физические.

Химическими источниками тока (ИТ) принято называть устройства, вырабатывающие электрический ток за счёт энергии окислительно-восстановительных реакций химических реагентов. Первичные ИТ (гальванические

элементы и батареи) допускают, как правило, однократное использование энергии химических реагентов. Таким образом, при использовании батарей срок службы датчика напрямую определяется емкостью батареи. Несмотря на то, что оснащение МИД батареями – это наиболее простой путь решения проблемы автономного питания, такой подход накладывает жесткие ограничения на режимы работы датчика (частота измерения, дальность передачи и пр.). Организация рабочих режимов датчика должна позволять использовать датчик в течение не менее пяти лет.

Физическими источниками тока называют устройства, преобразующие тепловую, механическую, электромагнитную энергию, а также энергию радиационного излучения и ядерного распада в электрическую. В соответствии с наиболее часто употребляемой классификацией, к физическим ИТ относят: электромашинные генераторы, термоэлектрические генераторы, термоэмиссионные преобразователи, МГД-генераторы, а также генераторы, преобразующие энергию солнечного излучения и атомного распада. В связи с тем, что МИД, как правило, должны быть миниатюрными устройствами, наиболее интересными с точки зрения использования в МИД являются источники тока на основе термоэлектрических генераторов, источники тока, использующие солнечную энергию, источники тока, использующие преобразование механической энергии в электрическую на основе пьезоэффекта.

Работа термоэлектрического генератора (ТЭГ) основана на использовании эффекта Зеебека. Рабочим материалом в ТЭГ служат различные полупроводниковые соединения кремния, германия и т. п. (как правило, твердые растворы). КПД ТЭГ от 3 до 15 % в диапазоне температур от 100 до 1000 °С. По мнению ученых, термоэлектрический генератор идеально подходит для автономного питания сенсоров. Он не требует человеческого вмешательства, не имеет движущихся механических частей. Преобразование тепловой энергии в электрическую основано на эффекте, где в закрытой системе между двумя металлами с разной температурой возникает электрический ток. Разработки ТЭГ ведутся в США, Германии, Франции, Японии. Так, например, термоэлектродгенератор, разработанный французскими учеными, имеет мощность 4 мВт на кв. см поверхностей с разностью температур 1 °С. При разности температур 60 °С создается напряжение в 1 В. Около 78 % энергии, собранной с генератора, попадает в батарею.

В Германии исследователи из компании EnOcean уже готовят коммерческую версию аналогичного продукта. Термоэлектрические батареи обладают следующими преимуществами перед другими источниками электропитания: они характеризуются длительным сроком службы и практически неограниченным сроком хранения при полной готовности к работе в любое время, не требуют специального обслуживания, устойчивы в работе, дают стабильное напряжение, не боятся короткого замыкания и режима холостого хода. Кроме того, ввиду отсутствия движущихся частей термоэлектрические генераторы полностью бесшумны в работе, что дает им преимущество перед машинными источниками постоянного напряжения. Благодаря этим свойствам термоэлектрические генераторы находят применение в областях, где требуются сверхнадежные источники электроэнергии, обладающие длительным сроком эксплуатации и не требующие обслуживания. Недостатком ТЭГ является сравнительно низкий КПД преобразования энергии.

Принцип действия источников тока, преобразующих энергию солнечного излучения, основан на использовании внутреннего фотоэффекта (см. Фотоэлектрические явления). Фотоэлектрический генератор (солнечная батарея) представляет собой совокупность вентильных фотоэлементов, преобразующих энергию солнечного излучения в электрическую. Практически прямое преобразование энергии солнечного излучения стало возможно лишь после создания в 1953 г. высокоэффективного фотоэлемента из монокристаллического кремния. Лучшие образцы кремниевых фотоэлементов имеют КПД около 15 %; срок службы их практически неограничен. Перспективным направлением развития солнечных батарей являются полимерные солнечные батареи. Полимерные солнечные батареи – это разновидность солнечных батарей, которые производят электричество из солнечного света. Относительно новая технология, активно исследуемая в университетах, национальных лабораториях и нескольких компаниях по всему миру. Демонстрируются устройства-прототипы с эффективностью конверсии энергии 5 %. В сравнении с устройствами, основанными на кремниевой технологии, полимерные солнечные батареи легки (что важно для автономных датчиков малых размеров), доступны, недороги в производстве, гибки, оказывают незначительное влияние на окружающую среду. Открытым вопросом остаётся степень коммерческой конкуренции с кремниевыми солнечными батареями.



Пьезоэффект основан на том, что все кристаллы анизотропны, т.е. их свойства различны по различным направлениям. Если кристалл деформировать в каком-либо направлении, то на соответствующих гранях появляется ЭДС (прямой пьезоэффект). При помещении этого кристалла в электрическое поле в нем возникает упругая деформация; величина деформации зависит как от величины поля, так и от направления его относительно осей кристалла (обратный эффект).

Характер взаимосвязей электрической поляризации и механических деформаций в кристаллах делают возможным существование пьезоэффекта только при наличии определенного вида кристаллической структуры (например, типа кварца). Основное применение пьезоэффекта: взаимопреобразование механических и электрических колебаний – датчики частот, датчики и источники ультразвуковых колебаний, звукосниматели, манометры и т.д.

Несмотря на то, что пьезоэффект был открыт еще в XIX в., а со 2-й половины XX в. активно развивались теория и технология создания пьезокерамических материалов, считается, что пьезокерамика – один из перспективных материалов XXI в. Основанием для такой точки зрения является то, что замечательные свойства, присущие пьезокерамике, до сих пор не в полной мере востребованы наукой, техникой и технологиями. Достаточно хорошо были изучены и использованы свойства пьезокерамических датчиков и пьезокерамических преобразователей. В настоящее время пьезокерамика широко используется для ультразвуковой диагностики в медицине, авиационном и железнодорожном транспорте, энергетике, нефтегазовом комплексе; силовая пьезокерамика – в ультразвуковой сварке, чистке поверхностей, нанесении покрытий, сверлении и т.д.

В то же время пьезокерамика еще недостаточно используется для создания генераторов, актюаторов и в комбинированных системах. Современные же требования по энергосбережению, миниатюризации, адаптивности к бортовым системам управления и контроля все чаще заставляют производителей техники и оборудования обращаться к поиску тех или иных технологических решений с помощью пьезокерамики. В результате появляются новые типы пьезокерамики, создаются новые и совершенствуются известные пьезокерамические элементы и компоненты.

Использование в качестве источников тока как химических, так и физических элементов в обоих случаях требует применение высокоэффективных схем управления питанием, а также трансиверов, сенсоров и остального схемного обрамления с микромощным энергопотреблением. В связи с малой мгновенной мощностью физических источников тока, очевидно, что оптимальные схемы источников питания МИД можно получить только при совместном использовании химических и физических источников тока. При этом в элементе питания реализуется периодическое накопление энергии (зарядка аккумуляторной батареи от физических источников тока) и выдача накопленной энергии в момент измерения и передачи информации в схему датчика (разрядка аккумуляторной батареи током, достаточным для обеспечения нормального функционирования датчика).

### **Контрольные вопросы**

1. Особенности классической структуры системы сбора информации и управления.
2. Особенности обобщенной структуры распределенной интеллектуальной мультисенсорной системы сбора информации и управления.
3. Укажите какие факторы следует учитывать при выборе платформы.

## 8. НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В СФЕРЕ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

### 8.1. Мультисенсорные системы типа «электронный нос»

В [127] проанализированы возможности употребления искусственного обоняния в системах очувствления мобильных интеллектуальных роботов. Отмечена успешность развиваться в будущем использования сенсоров газа и систем типа «электронный нос» в мобильных роботах для идентификации и распознавания источников запахов, а также для выявления и распознавания препятствий, навигации, картирования и ориентации роботов в совокупности с уже употребляемыми системами.

Полная газочувствительная система, используемая в мобильном роботе (рис. 8.1), называется «электронный мобильный нос» [127, 128].



Рис. 8.1. Схема электронного носа в мобильном роботе [127, 128]

Авторы [129] исследовали концентрационную зависимость газочувствительности датчика газа на базе наноструктурированной пленки  $\text{SnO}_2$  при разных условиях его работы в широком интервале содержаний газов: пропанола, этанола аммиака и ацетона с вероятностью распознавания по методике ближайших соседей, превышающей 95 %.

Выявлен степенной вид концентрационной зависимости газочувствительности с показателем степени  $n$ , отличным для разных проб газа, при величине показателя степенного закона  $n$ , зависящей от режима

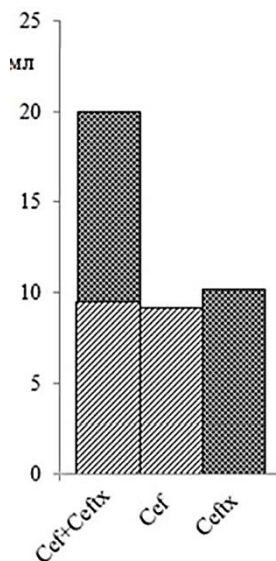
функционирования датчика и газовой смеси пробы. Данное обстоятельство разрешает определять пробы газа, в которых содержатся пары разных веществ.

В новейшем исследовании [130] показано, что создать малогабаритные сенсоры, предназначенные для обнаружения сверхнизкого содержания насыщенных паров тринитротолуола (ТНТ) и гексогена (ГГ), можно посредством использования тонких пленок диоксида олова, легированного сурьмой, с покрытием его поверхности в качестве трехслойного дисперсного катализатора Au/Pt/Pd/SnO<sub>2</sub>: Sb, с электродами из платины и нагревателем. Сенсоры изготавливали способом магнетронного напыления при постоянном токе с употреблением нескольких фотолитографических операций. Наблюдалось существенное увеличение отклика при работе сенсоров в экспериментально обнаруженных наилучших режимах термоциклирования. В случае присутствия дисперсных катализаторов Pt/Pd с циклом нагрева при  $T_1 = 220\text{--}240\text{ }^\circ\text{C}$  ( $t_1 = 5\text{ с}$ ) протекает диссоциативная адсорбция молекул взрывчатого вещества на поверхности тонких пленок нанокристаллического диоксида олова. При этом растет сопротивление сенсоров, что указывает на повышение плотности отрицательного заряда. Таким образом, происходит выделение диоксида азота, который адсорбируется в присутствии каталитического слоя Au на поверхности сенсора. Диоксид азота, являющийся в свою очередь, катализатором последующего разложения ТНТ и особенно ГГ, что способствует увеличению отклика. Наибольший отклик на NO<sub>2</sub> обнаруживался в цикле охлаждения с температурой  $T_2 = 70\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$  ( $t_2 = 3\text{ с}$ ). В случаях температур выше 340 °C органическая основа (возможно, толуол) молекулы реагирует с атомами кислорода, которые адсорбированы на поверхности сенсорной пленки. Это вызывает рост проводимости сенсора. Следовательно, наличие паров взрывчатого вещества в атмосфере проявляется в росте сопротивления сенсора, функционирующего при менее низкой температуре, и спад сопротивления сенсора, действующего при более высокой температуре. Выявленные закономерности послужили основой разработанной **мультисенсорной системы** для обнаружения насыщенных паров 20–30 ppт гексогена и 10–15 ppб тринитротолуола при времени отклика 3–5 с и с повышенной избирательностью и устойчивостью по отношению к парам воды.

## 8.2. Мультисенсорные системы типа «электронный язык»

Авторами [131] с целью обработки аналитической информации в МС вида «электронный язык» были употреблены искусственные нейронные сети с относительной погрешностью определения не выше 13%.

На рис. 8.2 показана диаграмма, отображающая пример по разделному определению  $\beta$ -лактамных антибиотиков.



**Рис. 8.2.** Данные раздельного контроля цефазолина и цефотаксима в двухкомпонентных смесях

Следовательно, мультисенсорный подход наряду с математической обработкой сигналов измерений обеспечивает проведение раздельного определения  $\beta$ -лактамных антибиотиков при совместном их присутствии в двухкомпонентных смесях.

Особенности составления образов сигнала спада свободной индукции (ССИ) от низкополевых датчиков ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для их определения посредством «широких нейронных сетей» приведены в [132].

Дан анализ информации, содержащейся в образах сигнала ССИ, разработана методика выделения «зон интереса» в образах и удаления избыточных

данных. Эта методика обеспечила сокращение в 3–4 раза числа данных, которые описывают образ сигнала ССИ, причем вносимая погрешность сопоставима с уровнем шумов традиционного низкополюсового датчика ЯМР.

В классическую систему, регистрирующую сигналы ЯМР (рис. 8.3), входит передатчик, формирующий радиочастотные импульсы. Приёмник оцифровывает сигнал и передаёт для формирования образа сигнала.

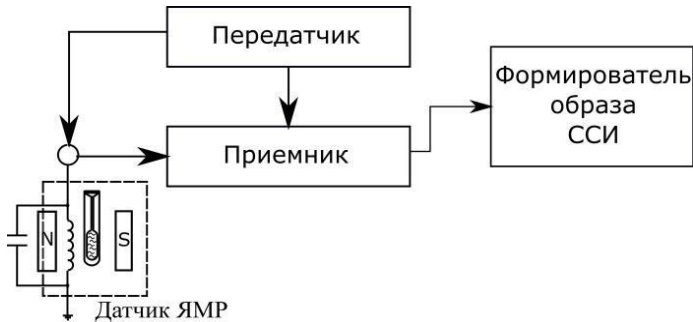


Рис. 8.3. Измерительная схема на основе ЯМР, регистрирующая ССИ

При регистрации ССИ протекает подача одного радиочастотного импульса (рис. 8.4), с длительностью и амплитудой, разрешающими отклонить на  $90^\circ$  вращающийся вектор  $M$  по отношению к  $H_0$ . Заметим также существование «мёртвого времени», т.е. времени после завершения импульса во время которого нет регистрации вследствие перегрузки на входе приёмника, вызываемой при приёме импульса с большой амплитудой.

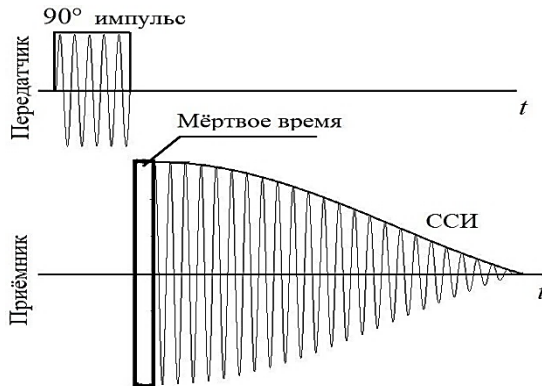
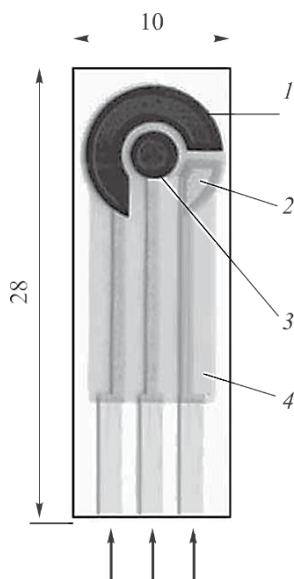


Рис. 8.4. Результаты регистрации ССИ

Авторы [133] предложили способ мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии для обнаружения и установления идентичности макроколичеств алкалоидов в анализируемой пробе.

Исследование проводилось на планарных электродах (ООО «Колор Электроникс»), которые представляют собой трехэлектродную схему (рис. 8.5). Электроды имеют структуру, на одной плоскости которой (полиэфирной пленочной подложки) образованы индикаторный (рабочий) и вспомогательный электроды и электрод сравнения. Рабочий и вспомогательный электроды изготавливали с применением углеродной пасты, а электрод сравнения – из пасты Ag/AgCl. Размеры составляли  $10 \times 28 \times 0,35$  мм. Таким образом, получилась компактная, легко сменяющаяся электродная система однократного использования, при этом не требовалась подготовка поверхности рабочего электрода.

Итак, данным методом можно достигать достоверных результатов при низкой трудоемкости и малом времени осуществления анализа как в лабораторной, так и внелабораторной обстановке.



**Рис. 8.5.** Схема планарного электрода: 1 – вспомогательный электрод; 2 – электрод сравнения; 3 – индикаторный электрод; 4 – изолятор; 5 – контакты

В отличие от известных мультисенсорных систем, применяющих множество рабочих электродов, в данном способе линейку сенсоров формируют на поверхности трехэлектродной системы при добавлении в состав фонового электролита ионов переходных металлов, которые образуют комплексы с ядовитыми веществами пробы. Влияние на электрохимическое поведение мультисенсорной тест-системы всякого органического вещества разное. Следовательно, есть возможность употребления раствора электролита в качестве тест-системы, в составе которого имеется набор катионов разных металлов.

Достоинство разработанного способа – приобретение достоверной информации при низкой трудоемкости и повышенной оперативности осуществления анализа. Учитывая специфику веществ, подлежащих выявлению, оптимизировали состав электрохимической тест-системы, были обнаружены информационные параметры, подтверждающие присутствие алкалоидов в анализируемой пробе. Удачное употребление разработанного способа в аналитических исследованиях позволило реализовать его в формате «электронного языка».

### **Контрольные вопросы**

1. Охарактеризуйте способ мультисенсорной инверсионной вольтамперометрии для обнаружения и установления идентичности макроколичеств алкалоидов в анализируемой пробе.
2. Охарактеризуйте возможности использования искусственного обоняния в системах по очувствлению интеллектуальных мобильных роботов.
3. Охарактеризуйте концентрационную зависимость газочувствительности датчика газа на базе наноструктурированной пленки  $\text{SnO}_2$ .
4. Какова относительная погрешность обработки аналитической информации в мультисенсорной системе вида «электронный язык» с употреблением искусственных нейронных сетей?
5. Охарактеризуйте особенности составления образов сигнала спада свободной индукции (ССИ) от низкополевых датчиков ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для их определения посредством «широких нейронных сетей».



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переработано и дополнено второе издание этого учебного пособия [134].

Так как электронный язык – это аналитический инструмент, то возникает вопрос о его комплексном употреблении. Хотя созданы первые коммерческие приборы, большая часть результатов контроля, полученных посредством мультисенсорных систем вида электронный язык, скорее всего демонстрирует их возможности, чем практическое приложение. Возникает потребность в усиленной разработке методологии, в том числе сделать вполне возможной воспроизводимость откликов сенсоров методам калибровки, кондиционированию и отмывки сенсоров и т.д.

Следует заметить также, что требуются большие усилия по исследованию механизмов откликов сенсоров на разные контролируемые вещества, по интенсивному поиску оригинальных сенсорных композиций, а также по разработке методик употребления «электронного носа» и «электронного языка» для решения практических задач.

В ходе исследований методики прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании бортовых систем контроля получены следующие результаты:

- приведена целевая функция поддержания работоспособности АТ при использовании бортовой системы контроля и устройства регистрации данных, определяющая влияние множеств показателей различного рода на коэффициент технической готовности парка автомобилей. Важным моментом при поддержании работоспособности АТ является принятие решения о необходимости проведения технического воздействия на основе количественной оценки множества реализаций параметров и прогнозирования изменения их значений;

- описана модель прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании бортовой системы контроля с устройством регистрации данных, которая позволяет в любой момент времени рассчитывать необходимые показатели по динамике их изменения в предстоящий период использования с оценкой достоверности прогноза и влияния на нее погрешностей датчиков. По результатам расчетов следует

планировать и проводить технические воздействия для АТ, направленные на предупреждение возникновения неисправных состояний и отказов;

– показана методика прогнозирования значений диагностических параметров АТ при использовании бортового контроля и устройства регистрации данных за счет использования алгоритма, позволяющего автомобильной службе рационально планировать технические воздействия на основе данных о динамике изменения диагностических параметров. В алгоритме в качестве критерия оценки степени влияния погрешностей датчиков на величину прогноза наработки выбраны частные коэффициенты эластичности, которые, на наш взгляд, позволяют математически характеризовать важность результатов измерений как показателей на величину отклика, так и собственно погрешностей датчиков;

– теоретически предположено, что при определении прогноза технического состояния узла, агрегата АТ или элемента любой сложной технической системы вопрос влияния точности и полноты контроля датчиками является основополагающим при расчете прогнозируемой наработки до достижения параметром своего предельного значения. В соответствии с этим сформулированы задачи оптимизации состава датчиков для БСК АТ;

– приведена имитационная модель оптимизации состава датчиков для бортовых систем контроля АТ по критериям стоимости датчиков, их точности и полноте контроля, позволяющая математически рассчитать требуемые комбинации состава датчиков по выбранным критериям и принятым ограничениям. Актуальность модели заключается в использовании универсального показателя, характеризующего нахождение составляющих элементов систем, узлов и агрегатов АТ в состоянии планового технического воздействия за выбранную наработку в сравнении с остальными элементами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алхасов, С. С.* Основы построения мультисенсорных систем для экологического мониторинга водных сред : учебное пособие [Текст] / С. С. Алхасов, Л. П. Милешко, Е. А. Шестова – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. – 99 с.
2. *Виглеб, Г.* Датчики [Текст] / Г. Виглеб; пер. с нем. – Москва: Мир, 1989. – 196 с.
3. Датчики теплофизических и механических параметров: справочник в 3-х томах. Т. 1 (кн. 1) [Текст] / под общ. ред. Ю. Н. Коптева, Е. Е. Багдатьяева, А. В. Гориша, Я. В. Малкова. – Москва: ИПРЖР, 1998. – 458 с.
4. Большой англо-русский политехнический словарь: в 2 т. Т. 2 [Текст] / С. М. Баринов, А. Б. Борковский, В. А. Владимиров и др. – Москва: Рус. яз., 1991. – 720 с.
5. *Андреев, А. В.* Применение нейросетевых технологий в системах с многими датчиками [Текст] / А. В. Андреев, Д. А. Скоринов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2006. – №8–9. – С. 95–97.
6. *Максимов, Д. Ю.* Синтез нейросети для беспроводной передачи данных экологического мониторинга объекта уничтожения химического оружия [Текст] / Д. Ю. Максимов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2007. – № 1. – С. 54–58.
7. *Долгополов, Н.* Наносенсорная нейроподобная система «электронный нос» [Текст] / Н. Долгополов, М. Яблоков // Электроника: наука, технология, бизнес, 2008. – № 1. – С. 60–65.
8. *Алейников, А. Ф.* Датчики (Перспективные направления развития) [Текст] / А. Ф. Алейников, В. А. Гридчин, М. П. Цапенко; под ред. М. П. Цапенко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 176 с.
9. *Алейников А. Ф.* Методы получения информации от многофункциональных датчиков [Текст] / А. Ф. Алейников // Современные методы, средства измерений и автоматизации для исследования физических процессов в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. – Новосибирск, РАСХН, Сиб. отд-ние, 1993. – С. 3–16.

10. *Алейников, А. Ф.* Автоматизация измерительных сигналов в многомерных датчиках [Текст] / А. Ф. Алейников // Вестник Россельхозакадемии, 2000. – № 3. – С. 72–74.
11. *Алейников, А. Ф.* Многофункциональные датчики [Текст] / А. Ф. Алейников, М. П. Цапенко // Измерения, контроль, автоматизация, 1990. – № 2. – С. 50–57.
12. *Алейников, А. Ф.* Многофункциональные датчики: методические рекомендации. [Текст] / А. Ф. Алейников – Новосибирск: Издательство «СО РАСХН», 1993. – 36 с.
13. Малогабаритные датчики температуры и деформации [Текст] / А. И. Дрожжин, А. А. Щетинин, Н. К. Седых, Е. П. Новокрещенова, А. И. Дунаев // Приборы и техника эксперимента, 1977. – № 5. – С. 216–218.
14. Пат. №3916877 США, МКИ А 61 В 5/02, 5/04; G 01 К 7/12. Датчик температуры и пульса / Paul Beckman, Huntington Valley, Pa (USA); U.S. Surgical Corporation (USA) – № 409382; Заявлено 23.10.73; Опубл. 4.1175 // Изобретения за рубежом. – 1976. – № 2. – С.51.
15. *Большакова, И. А.* Датчики для одновременного измерения магнитного поля [Текст] / И. А. Большакова // Приборы и техника эксперимента, 1980. – № 2. – С. 212–214.
16. Патент 57-56719 (Япония), МКИ G 01 D 21 / 02. Датчик температуры и влажности / Мацусита дэнки санге К. К. (Япония). – № 53–9103; Заявлено 30.01.78; Опубл. 01.02.80 // Изобретения за рубежом, 1983. – № 14. – С. 89.
17. *Wiegert, H. I.* Unter Suchungen zur gleichzeitigen Messung mehrerer Grossen einem Aufnehmer [Текст] / H. I. Wiegert // Mess-Steuern-Regeln, 1976. – Vol. 20. – № 12. – P. 426–529.
18. *Цунэдзи.* Керамические многофункциональные датчики [Текст] / Цунэдзи // Автоматика, телемеханика и вычислительная техника: РЖ, 1981. – № 7. – С. 12.
19. *Стипсон, В. Т.* Комбинированный датчик давления и температуры [Текст] / В. Т. Стипсон, М. Хас // Приборы и элементы автоматки и вычислительной техники: Экспресс-информация, 1988. – № 9. – С. 11–18.

20. Авторское свидетельство №1024697 СССР, МКИ G 01 В 7/18. Малобазный тензотермодатчик / А. М. Дрожжин, А. П. Ермаков (СССР). № 3402374/25-28; Заявлено 22.03.83; Оpubл. 23.06.85; Бюл. № 23. – 3 с.
21. *Москвин, В. Н.* Управляемые контрольно-измерительные преобразователи на основе сегнетоэлектрических материалов [Текст] / В. Н. Москвин, А. И. Адонин, А. В. Виноградов // Тез. докл. II Всесоюзн. конференции по акустической эмиссии. – Кишинев: КДНТП, 1987. – С. 133–134.
22. Авторское свидетельство №1496705 СССР, МКИ А 01 G В 7/00. Устройство для измерения динамики роста и температуры растения / А. Ф. Алейников (СССР). № 4310487/30-15; Заявлено 29.09.87; Оpubл. 30.07.89; Бюл. № 28. – 4 с.
23. *Алейников, А. Ф.* Датчик атмосферного давления [Текст] / А. Ф. Алейников // Разработка новых методов и средств измерения для исследования биологических объектов: сб. научн. тр. – Новосибирск, РАСХН, Сиб. отд-ние. СибФТИ, 1995. – С. 3–9.
24. *Гридчин, В. А.* Проектирование тензопреобразователей на эффекте поперечной пьезоЭДС с учетом размера потенциальных контактов [Текст] / В. А. Гридчин // Физические основы полупроводниковой тензометрии: Межвуз. сб. науч. тр. – Новосибирск, Новосибир. электротехн. ин-т, 1984. – С. 109–119.
25. Авторское свидетельство №1812462 СССР, МКИ G 01 L 11/00. Устройство для измерения давления и температуры / А. Ф. Алейников (СССР). № 4493705 / 10; Заявлено 10.10.88; Оpubл. 30.04.93; Бюл. № 16. – 4 с.
26. Авторское свидетельство №1224626 СССР, МКИ G 01 L 11/00 Датчик давления / А. Ф. Алейников (СССР). – № 3796100/24-10; Заявлено 02.10.84; Оpubл. 15.04.86; Бюл. № 14. – 4 с.
27. Авторское свидетельство № 1348674 СССР, МКИ G 01 L 11/00 Датчик давления / А. Ф. Алейников (СССР). – № 399338/24-10; Заявлено 24.12.85; Оpubл. 30.10.87; Бюл. № 40. – 2 с.
28. Авторское свидетельство № 1645862 СССР, МКИ G 01 L 11/00 Устройство для измерения давления / А. Ф. Алейников (СССР). – № 4601081/10; Заявлено 01.11.88; Оpubл. 30.04.91; Бюл. № 16. – 7 с.

29. Авторское свидетельство № 1599684 СССР, МКИ G 01 L 11/00 Датчик давления / А. Ф. Алейников (СССР). – № 4265654/42-10; Заявлено 22.06.87; Оpubл. 15.10.90; Бюл. № 38. – 3 с.
30. Авторское свидетельство № 1610330 СССР, МКИ G 01 L 9/10 Устройство для измерения давления / А. Ф. Алейников (СССР). – № 4317106/24-10; Заявлено 24.08.87; Оpubл. 30.11.90; Бюл. № 44. – 4 с.
31. Авторское свидетельство № 1642266 СССР, МКИ G 01 K 7/00 Датчик температуры / А. Ф. Алейников (СССР). – № 4324913/10; Заявлено 14.09.87; Оpubл. 15.04.91; Бюл. № 14. – 3 с.
32. Авторское свидетельство № 1758456 СССР, МКИ G 01 L 11/00 Устройство для измерения давления / А. Ф. Алейников (СССР). – № 4640586/10; Заявлено 24.01.89; Оpubл. 15.08.92; Бюл. № 32. – 4 с.
33. Авторское свидетельство № 1722299 СССР, МКИ АО G 7/00 Устройство для измерения температуры, относительной влажности и освещенности / А. Ф. Алейников (СССР). – № 4785861/15; Заявлено 23.01.90; Оpubл. 30.03.92; Бюл. № 12. – 4 с.
34. *Земельман, М. А.* Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств [Текст] / М. А. Земельман – Мсква: Изд-во стандартов, 1972. – 197 с.
35. *Лысенко, И. Е.* Проектирование сенсорных и актюаторных элементов микросистемной техники [Текст] / И. Е. Лысенко – Таганрог: Изд-во ТРГУ, 2005. – 103 с.
36. *Соколов, Л. В.* Сенсорные твердотельные микроприборы и микросистемы на основе MEMS-технологии [Текст] / Л. В. Соколов // Зарубежная электронная техника, 1999. – № 1. – С. 93–116.
37. *Калач, А. В.* Мультисенсорные системы. Применение методологии искусственных нейронных сетей для обработки сигналов сенсоров [Текст] / А. В. Калач // Нейрокомпьютеры: Разработка, применение, 2003. – № 10–11. – С. 43–47.
38. *Зими́на, Т. М.* Микросистемная техника и проблемы биомедицинского анализа [Текст] / Т. М. Зими́на, В. В. Лучинин, Е. В. Крапивина, А. С. Ресин // Микросистемная техника, 2000. – № 2. – С. 37–42.
39. Lab-on-a-Chip and Microarrays for Post-Genome Applications. Cambridge Helthtech Institute's Fourth Annual. – Zurich. – 2002. – 608 p.

40. *Корляков, А. В.* Физико-топологические основы микрофлюидных чипов [Текст] / А. В. Корляков, Е. В. Крапивина, В. В. Лучинин // Петербургский журнал электроники, 2001. – № 4. – С. 43–53.
41. *Орлов, В. И.* Жидкостная хроматография. Теоретические основы [Текст] / В. И. Орлов, А. А. Аратсков – Дзержинск: НТК «Синтеко», 1997. – 41 с.
42. *Яблоков, М. Ю.* Самоорганизация наночастиц палладия при формировании металл-полимерных покрытий [Текст] / М. Ю. Яблоков, С. А. Завьялов, Е. С. Оболонкова // Журн. физ. Химии, 1999. – Т. 73. – № 2. – С. 219–223.
43. *Петров, В. В.* Современные полупроводниковые сенсоры контроля газовых сред [Текст] / В. В. Петров, А. Н. Королев – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 114 с.
44. *Власов, Ю. Г.* Электронный язык – системы химических сенсоров для анализа водных сред [Текст] / Ю. Г. Власов, А. В. Легин, А. М. Рудницкая // Российский химический журнал, 2008. – Т. LII. – № 2. – С. 101–112.
45. *Войтович, И. Д.* Интеллектуальные сенсоры [Текст] / учебное пособие / И. Д. Войтович, В. М. Корсунский – Москва: Интернет-Университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 624 с.
46. *Васильев, В. П.* Аналитическая химия: в 2 кн. Кн. 2: Физико-химические методы анализа [Текст] / учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технол. спец. В. П. Васильев – 6-е изд., стереотип. – Москва: Дрофа, 2007. – 383 с.
47. *Камман, К.* Работа с ионселективными электродами [Текст] / К. Камман; пер. с нем. – Москва: Мир, 1980. – 286 с.
48. *Umezawa, Y.* Potentiometric selectivity coefficients of ion-selective electrodes. Part I. Inorganic cations (Technical Report) [Text] / Y. Umezawa, P. Bühlmann, K. Umezawa, K. Tohda, S. Amemiya // Pure and Applied Chemistry, 2000. – Vol. 72. – № 10. – P. 1851–2082.
49. *Власов, Ю. Г.* Мультисенсорные системы типа электронный язык – новые возможности создания и применения химических сенсоров [Текст] / Ю. Г. Власов, А. В. Легин, А. М. Рудницкая // Успехи химии, 2006. – Т. 75. – № 2. – С. 141–150.

50. Милешко, Л. П. Мультисенсорные системы [Текст] / учебное пособие / Л. П. Милешко, В. Н. Котов, А. Н. Королев, И. И. Черепяхин, И. П. Щербинин – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 236 с.
51. *Abu-Khalaf, N.* Calibration of a Sensor Array (an Electronic Tongue) for Identification and Quantification of Odorants from Livestock Buildings [Text] / N. Abu-Khalaf, J.J.L. Iversen // *Sensors*, 2007. – № 7. – P. 103–128.
52. *Verrelli, G.* Development of silicon-based potentiometric sensors: Towards a miniaturized electronic tongue [Text] / G. Verrelli, L. Francioso, R. Paolesse, P. Siciliano, C. Di Natale, A. D'Amico, A. Logrieco // *Sensors and Actuators B*, 2007, 123. – P. 191–197.
53. *Джексон, Р. Г.* Новейшие датчики [Текст] / Р. Г. Джексон; пер. с англ. – Москва: Техносфера, 2007. – 384 с.
54. *Баршутин, С. Н.* Исследование активности ионов и заряда индуцированного канала ионоселективного первичного преобразователя в приборах экологического мониторинга [Текст] / С. Н. Баршутин, В. П. Шелохвостов, В. Н. Чернышев // Международная научно-практическая конференция «Окружающая природная среда и медицинская экология»: сборник материалов. – Пенза, 2001. – С. 122–125.
55. *Павлюченко, А. С.* Применение ионоселективных полевых транзисторов для ферментного анализа токсичных примесей в водных растворах [Текст] / А. С. Павлюченко, А. Л. Кукла, Ю. В. Голтвянский // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2010. – № 3. – С. 35–46.
56. *Солдаткин, О. О.* Розроблення процедури мультибіосенсорного визначення важких металів і пестицидів у доквіллі [Текст] / О. О. Солдаткин, О. С. Павлюченко, В. М. Архипова, С. В. Дзядевич // *Біотехнологія*, 2010. – Т. 3. – № 2. – С. 71–81.
57. *Winqvist, F.* Multicomponent analysis of drinking water by a voltammetric electronic tongue [Text] / F. Winqvist, J. Olsson, M. Eriksson // *Analytica Chimica Acta*, 2011, 683. – P. 192–197.
58. *Campos, I.* A voltammetric electronic tongue as tool for water quality monitoring in wastewater treatment plants [Text] / I. Campos, M. Alcañiz, D. Aguado, R. Barat, J. Ferrer, L. Gil, M. Marrakchi, R. Martínez-Mañez, J. Soto, J.-L. Vivancos // *Water Research*, 2012, 46. – P. 2605–2614.



59. Twomey, K. Fabrication and characterization of a miniaturized planar voltammetric sensor array for use in an electronic tongue [Text] / K. Twomey, E. Alvarez de Eulate, J. Alderman, D.W.M. Arrigan // *Sensors and Actuators B*, 2009, 140. – P. 532–541.
60. Riul A. Jr. Artificial Taste Sensor: Efficient Combination of Sensors Made from Langmuir–Blodgett Films of Conducting Polymers and a Ruthenium Complex and Self-Assembled Films of an Azobenzene-Containing Polymer [Text] / Riul A. Jr., dos Santos D.S. Jr., Wohnrath K., Di Tommazo R., Carvalho A.C.P.L.F., Fonseca F.J., Oliveira O.N. Jr., Taylor D.M., Mattoso L.H.C. // *Langmuir*, 2002, 18. – P. 239–245.
61. Кукла, А. Л. Многоэлементные сенсорные массивы на основе интегральных кремниевых ионоселективных полевых транзисторов для систем химического мониторинга [Текст] / А. Л. Кукла, А. С. Павлюченко, Ю. В. Голтвянский, Ю. М. Ширшов // *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника*, 2007. – № 42. – С. 72–79.
62. TIA-232-F interface between data terminal equipment and data circuit-terminating equipment employing serial binary data interchange. – Telecommunication Industry Association, 1997.
63. Бородянский, И. М. Интеллектуальные средства измерений [Текст] / учебное пособие / И. М. Бородянский, Г. И. Ткаченко, В. Б. Лапшин – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 66 с.
64. Sipos, L. Discrimination of mineral waters by electronic tongue, sensory evaluation and chemical analysis [Text] / L. Sipos, Z. Kovács, V. Sági-Kiss, T. Csiki, Z. Kókai, A. Fekete, K. Héberger // *Food Chemistry*, 2012, 135. – P. 2947–2953.
65. Кравченко, Е. И. Разработка методики распознавания образцов газовых смесей с помощью мультисенсорной системы мониторинга [Текст] / Е. И. Кравченко, В. В. Петров, А. С. Варезников // *Инженерный вестник Дона*, 2012. – Т. 23. – № 4–2. – С. 5.
66. Kravchenko, E. I. Air monitoring by means of electronic nose [Text] / E. I. Kravchenko, V. V. Petrov // *Advanced Materials Research*, 2014, 864–867. – P. 908–912.
67. Кравченко, Е. И. Исследование свойств газочувствительных материалов состава  $\text{SiO}_2\text{SnO}_x\text{CuO}_y$ , используемых в сенсорах газов мультисенсорной системы мониторинга атмосферного воздуха [Текст] /

- Е. И. Кравченко, В. В. Петров, Д. В. Стегленко, А. С. Юычкова // Инженерный вестник Дона, 2012. – Т. 23. – № 4–2. – С. 4.
68. Carlsson, A. An electronic tongue as a tool for wet-end monitoring [Text] / A. Carlsson, C. Krantz-Rülcker, F. Winqvist // Nordic Pulp and Paper Research Journal, 2001, 16. – P. 319–326.
69. Mimendia, A. Use of Sequential Injection Analysis to construct a potentiometric electronic tongue: Application to the multidetermination of heavy metals [Text] / Mimendia A., Legin A., Merkoçi A., Valle M. del. // Sensors and Actuators B, 2010, 146. – P. 420–426.
70. Калач, А. В. Система распознавания экотоксикантов в закрытых помещениях [Текст] / А. В. Калач, А. М. Чуйков, О. Б. Рудаков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура, 2012. – № 3. – С. 119–126.
71. Барсегян, А. А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. [Текст] / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с. – 2-е изд., перераб. и доп.
72. Шитиков, В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации [Текст] / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
73. ГОСТ 14.413–80. Банк данных технологического назначения.
74. URL: <http://old.computerra.ru/201331/>.
75. Бурдонов, И. Б. Операционные системы реального времени [Электронный ресурс] / И. Б. Бурдонов, А. С. Косачев, В. Н. Пономаренко – URL: [http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep\\_14\\_2006.pdf](http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_14_2006.pdf)
76. Тхань, Фонг Ку. Разработка газовых сенсоров с низким энергопотреблением для беспроводных энергонезависимых сенсорных сетей («умная пыль») [Текст] / Фонг Ку Тхань // Международный научно-исследовательский журнал, 2015. – Т. 42. – № 11–2. – С. 116–122.
77. TelosB сенсорная платформа «умной пыли»: [http://www.willow.co.uk/TelosB\\_Datasheet.pdf](http://www.willow.co.uk/TelosB_Datasheet.pdf).
78. MICA2 сенсорная платформа «умной пыли»: <http://goo.gl/7EYVmd>
79. WaspMote сенсорная платформа «умной пыли»: <http://www.libelium.com/products/waspmote/>

80. FlyPort сенсорная платформа «умной пыли»: <http://www.openpicus.com>.
81. *Yuen Hui Chee*. “PicoCube: A 1cm<sup>3</sup> sensor node powered by harvested energy,” in Proc. [Text] / Yuen Hui Chee, Koplow M., Mark M., Pletcher N., Seeman M., Burghardt F., Steingart D., Rabaey J., Wright P., Sanders S. DAC, 2008. – P.114–119.
82. *Lu, J.* “Towards the world smallest wireless sensor nodes with ultra-low power consumption” [Text] / J. Lu, H. Okada, T. Itoh, T. Harada, R. Maeda. IEEE Sensors J. – Vol. 14. – №. 6. – P. 2035–2041, June 2014.
83. *Magno, M.* “Extended wireless monitoring through intelligent hybrid energy supply” [Text] / M. Magno, D. Boyle, D. Brunelli, B. O’Flynn, E. Popovici, L. Benini. IEEE Trans. on Ind. Electron. – Vol. 61. – № 4. – P.1871–1881, April 2014.
84. MICAz сенсорная платформа «умной пыли»: [http://www.openautomation.net/uploads/productos/micaz\\_datasheet.pdf](http://www.openautomation.net/uploads/productos/micaz_datasheet.pdf).
85. TinyOS – операционная система для беспроводных сенсорных модулей «умной пыли»: <http://www.tinyos.net/>.
86. *Levis, P.*, “Tinyos: An operating system for sensor networks” [Text] / P. Levis, S. Madden, J. Polastre, R. Szewczyk, K. Whitehouse, A. Woo, D. Gay, J. Hill, M. Welsh, E. Brewer, D. Culler. in Ambient Intelligence, W. Weber, J. Rabaey, and E. Aarts, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2005. – P. 115–148.
87. *Mottola, L., Picco, G.P., Ceriotti, M., Gună, Ș., Murphy, A. L.* 2010. Not all wireless sensor networks are created equal: A comparative study on tunnels. ACM Trans. Sen. Netw. 7, 2, Article 15 (September 2010). – 33 p.
88. *Ceriotti, M.* “Monitoring heritage buildings with wireless sensor networks: The Torre Aquila deployment” [Text] / M. Ceriotti, L. Mottola, G. P. Picco, A. L. Murphy, S. Guna, M. Corra, M. Pozzi, D. Zonta, P. Zanon – International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2009. IPSN 2009. – P. 277–288. – 13–16 April 2009.
89. BTnode сенсорная платформа «умной пыли»: <http://www.btnode.ethz.ch/>.
90. Meshlium – беспроводной концентратор сенсорной сети: <http://www.libelium.com/products/meshlium/>.
91. *Peter, C.* “Low-cost roll-to-roll colorimetric gas sensor system for fire detection” [Text] / C. Peter, S. Schulz, M. Barth, M. Gempp, S. Rademacher, J. Wollenstein. – 2013 Transducers & Eurosensors XXVII: The

- 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems. – P. 2632–2635. – 16–20 June 2013.
92. *Beirne, S.* “Automatic reaction to a chemical event detected by a low-cost wireless chemical sensing network” [Text] / S. Beirne, K. T. Lau, B. Corcoran, D. Diamond – 2009 IEEE Sensors. – P. 69–72. – 25–28 October 2009.
93. *Kim, Y. W.* “Wireless electronic nose network for real time gas monitoring system” [Text] / Y. W. Kim, S. J. Lee, G. H. Kim, G. J. Jeon. in Proc. ROSE, 2009. – P. 169–172.
94. *So, S.* “LaserSPECKs: Laser SPECTroscopic Trace-Gas Sensor Networks-Sensor Integration and Applications” [Text] / S. So, F. Koushanfar, A. Kosterev, F. Tittel. 6th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks. – P. 226–235. – 25–27 April, 2007.
95. *Somov, A.* Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring [Text] / A. Somov, A. Baranov, A. Savkin, D. Spirjakin, A. Spirjakin, R. Passerone // Sensors and Actuators, A: Physical 171(2): 398–405, 2011.
96. *Somov, A.* Combustible gases and early fire detection: an autonomous system for wireless sensor networks. [Text] / A. Somov, D. Spirjakin, M. Ivanov, I. Khromushin, R. Passerone, A. Baranov, A. Savkin. – In Proceedings of the First ACM International Conference on Energy-Efficient Computing and Networking (e-Energy’10). – P. 85–93, Passau, Germany. – April 13–15, 2010.
97. *Somov, A.* Circuit design and power consumption analysis of wireless gas sensor nodes: one-sensor versus two-sensor approach. [Text] / A. Somov, A. Baranov, D. Spirjakin, R. Passerone. – IEEE Sensors Journal 14 (6). – P. 2056–2063, 2014.
98. *Somov, A.* Energy-aware gas sensing using wireless sensor networks. [Text] / A. Somov, A. Baranov, A. Savkin, M. Ivanov, L. Calliari, R. Passerone, E. Karpov, A. Suchkov. In Proceedings of the 9th European Conference on Wireless Sensor Networks (EWSN’12), LNCS. – Vol. 7158. – P. 245–260, Trento, Italy, February 15–17, 2012.
99. <http://mag.ixbt.com/> 22.04.2002.
100. <http://www.autoizvestia.ru/> № 13(37). – 04.2003.
101. <http://www.motor.ru/> 2002–2004.
102. <http://www.cnews.ru/>.

103. <http://www.armalite.net>.
104. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование; под ред. Коробова А. И. – Москва: Радио и связь, 1987. – 270 с.
105. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств; под ред. Федорова В. К. – Москва: Техносфера. – 2005.
106. *Вишневецкий, В. М.* Широкополосные беспроводные сети передачи информации [Текст] / В. М. Вишневецкий, А. П. Ляхов, С. Л. Портной, П. В. Шахнович – Москва: Техносфера, 2005. – 591 с.
107. *Котов, В. Н.* Базовый комплект унифицированных датчиков физических величин для электронных и электрических систем мобильных объектов [Текст] / В. Н. Котов, И. Л. Нецадим, И. И. Черепяхин, С. Э. Борисов и др. // Мехатроника, автоматизация, управление, 2003. – № 3. – С. 42–47.
108. *Котов, В. Н.* Комплект микроэлектронных унифицированных датчиков физических величин для электронных и электрических систем автомобильной техники [Текст] / В. Н. Котов, И. Л. Нецадим, С. Э. Борисов, В. Г. Клиндухов и др. // Микросистемная техника, 2004.
109. *Каляев, И. А.* Микроэлектронные сенсорные системы: опыт создания и применения [Текст] / И. А. Каляев, В. Н. Котов, В. Г. Клиндухов, А. П. Кухаренко // Микросистемная техника, 1999. – № 1. – С. 32–35.
110. *Котов, В. Н.* Микроэлектронные сенсорные системы в производстве [Текст] / В. Н. Котов, В. Г. Клиндухов, Л. П. Кобякова, Г. А. Канищева, Н. П. Щегольков // Наука-производству, 1999. – № 11 – С. 56–59.
111. *Котов, В. Н.* Интегральный кремниевый микро-термоанемометр для измерения расхода жидких и газообразных сред [Текст] / В. Н. Котов, И. И. Черепяхин // Микросистемная техника, 2003. – № 8. – С. 14–20.
112. *Котов, В. Н.* Микро-термоанемометрические расходомерные устройства для информационных систем экстремальной робототехники [Текст] / В. Н. Котов, И. И. Черепяхин, И. Л. Нецадим // Конференция "Экстремальная робототехника ЭР-2003". – Санкт-Петербург – Москва – Таганрог, 2003. – С. 149–156.
113. *Сысоева, С.* Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. [Текст] / С. Сысоева. Часть 4 // Компоненты и технологии, 2005. – № 5. – С. 60–68.

114. GMR Sensors Catalog. NVE Corp. 2005. <http://www.nve.com/spec/PDFs/catalog.pdf>.
115. AA and AB-Series Analog Sensors. [http://www.nve.com/spec/PDFs/analog\\_catalog.pdf](http://www.nve.com/spec/PDFs/analog_catalog.pdf).
116. Engineering and application notes. Giant magnetoresistive (GMR) sensors. NVE Corp. [www.nve.com/spec/PDFs/apps.pdf](http://www.nve.com/spec/PDFs/apps.pdf).
117. *Смирнов, Н. Н.* Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию [Текст] / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. – 2-е изд. – Москва: Транспорт, 1987. – 272 с.
118. *Михлин, В. М.* Управление надежностью сельскохозяйственной техники [Текст] / В. М. Михлин – Москва: Колос, 1984. – 334 с.
119. *Пучков, В. В.* Показатель информативности сложной технической системы [Текст] / В. В. Пучков, В. С. Абанин, А. И. Бейлин, С. А. Додонов и др. // Научно-педагогическая деятельность профессорско-преподавательского состава на пути развития образования в высшем военно-техническом учебном заведении: сборник статей под общ. ред. А. Н. Герасимова. – Москва: Компания Спутник +, 2006. – С. 66–74. – 148 с.
120. *Кузнецов, Е. С.* Управление технической эксплуатацией автомобилей [Текст] / учебник для вузов. Е. С. Кузнецов – 2-е изд. – Москва: Транспорт, 1990. – 272 с.
121. *Лукинский, В. С.* Прогнозирование надежности автомобилей [Текст] / В. С. Лукинский, Е. И. Зайцев. – Ленинград: Политехника, 1991. – 224 с.
122. *Авдонькин, Ф. Н.* Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей [Текст] / учебное пособие для вузов: Ф. Н. Авдонькин. – Москва: Транспорт, 1985. – 215 с.
123. Руководство по эксплуатации автомобилей КамАЗ – 43101, 43114, 43115, 43118, 4326, 44108. – ОАО «КамАЗ». – Набережные Челны, 2003. – 128 с.
124. *Минашкин, В. Г.* Теория статистики [Текст] / учебное пособие: В. Г. Минашкин, Р. А. Шмойлова, Н. А. Садовникова. – Москва: Издательство «Маркет ДС», 2006. – 200 с.
125. ГОСТ 16263-70 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения [Текст]. – Москва: Издательство стандартов, 1970. – 16 с.

126. *Абанин, В. С.* Оптимизация глубины диагностирования автомобильной техники. Тезисы выступлений [Текст] / В. С. Абанин. III Межвузовская научно-техническая конференция «Новые технологии в учебном процессе и производстве». 25–29 апреля, 2005. Рязанский ин-т МГОУ. – Рязань, 2005. – 90 с.
127. *Мусатов, В. Ю.* О возможности использования датчиков газа и мультисенсорных газочувствительных систем в интеллектуальных мобильных роботах [Текст] / В. Ю. Мусатов, В. И. Вавилов, Д. Ю. Петров, М. Ф. Степанов, В. В. Сысоев // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2020. – № 4 (87). – С. 47–65.
128. *Wandel, M. R.* Gas Distribution in Unventilated Indoor Environments Inspected by a Mobile Robot [Text] / M. R. Wandel, A. J. Lilienthal, T. Duckett, U. Weimar, A. Zell // Proc. IEEE ICAR. 2003. P. 507–512.
129. *Корабель, М. Д.* Принципы создания виртуальной мультисенсорной системы для распознавания газовых смесей [Текст] / М. Д. Корабель, И. В. Синёв, Д. А. Шикун, Н. А. Клычков, Д. А. Тимошенко, В. В. Симаков // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов, 2020. – № 12. – С. 827–835.
130. *Максимова, Н. К.* Полупроводниковые сенсоры насыщенных паров взрывчатых веществ и мультисенсорные системы на их основе [Текст] / Н. К. Максимова, Т. Д. Малиновская, Е. Ю. Севастьянов, Е. В. Черников, Н. В. Сергейченко // Технологии безопасности жизнедеятельности, 2023. – № 1. – С. 60–70.
131. *Кулапина, Е. Г.* Мультисенсорные системы типа «электронный язык» для раздельного определения цефотаксима и цефазолина [Текст] / Е. Г. Кулапина, А. Е. Дубасова, О. И. Кулапина, В. Д. Анкина // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология, 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 4–11.
132. *Лапшенков, Е. М.* Особенности синтеза образов сигнала спада свободной индукции ядерного магнитного резонанса для их распознавания нейронной сетью интеллектуальных устройствах типа «электронный язык» [Текст] / Е. М. Лапшенков, В. П. Кулагин, В. Я. Волков // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, 2018. – Т. 1. – С. 165–168.

133. *Петренко, Е. М.* Электрохимический мультисенсорный экспресс-анализ алкалоидов в формате «электронный язык» [Текст] / Е. М. Петренко, В. А. Семенова // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Естественные науки, 2022. –№ 6(105). – С. 144–156.
134. *Милешко, Л. П.* Мультисенсорные системы [Текст]: учебное пособие / Л. П. Милешко, В. Н. Котов, А. Н. Королев, И. И. Черепахин, И. П.Щербинин, Е. А. Шестова, С. С. Алхасов, А. С. Камышева; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 280 с. – 2-е изд., перераб. и доп.



*Учебное издание*

**МИЛЕШКО Леонид Петрович**  
**СПИРИДОНОВ Олег Борисович**  
**ЧЕРЕПАХИН Иван Иванович**  
**ЩЕРБИНИН Иван Павлович**  
**ШЕСТОВА Елена Александровна**  
**АЛХАСОВ Станислав Сергеевич**  
**КАМЫШЕВА Анастасия Сергеевна**

## **МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ**

*Учебное пособие*

Редакторы: *З. И. Надточий, Л. В. Чиканенко, Н. И. Селезнева*

Корректоры: *З. И. Надточий, Л. В. Чиканенко, Н. И. Селезнева*

Компьютерная верстка *И. А. Бобровской*

Подписано в печать

Бумага офсетная. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. лист. 15,87.

Уч. изд. л. 10,16. Тираж 40 экз. Заказ №

Издательство Южного федерального университета.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции

Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.

344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел. (863) 243-41-66.