

На правах рукописи

Брежнева Екатерина Олеговна

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ БЛОЧНЫХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ОБУЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ИМИТАЦИИ

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ,
материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

ОРЕЛ – 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Дрейзин Валерий Элезарович

Официальные оппоненты: Раков Владимир Иванович,
доктор технических наук, доцент,
Государственный университет –
учебно-научно-производственный
комплекс,
профессор кафедры
«Информационные системы»

Иванов Юрий Борисович,
кандидат технических наук,
Академия ФСО России,
преподаватель кафедры № 11

Ведущая организация: Институт общей и неорганической
химии им. Н.С. Курнакова РАН

Защита состоится 19 марта 2013 г. в 13-00 на заседании диссертационного совета Д 212.182.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс" по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, аудитория 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс".

Автореферат разослан 29 января 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.182.01

Волков Вадим Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Потребности промышленности, решение задач жизнеобеспечения ответственных объектов, включая подземные сооружения, подводные и надводные корабли, защиты окружающей среды приводят к необходимости совершенствования технической базы систем контроля воздушной и газовой среды. Контроль параметров воздушной среды на таких объектах осуществляется с помощью многокомпонентных газоанализаторов, позволяющих одновременно контролировать концентрации сразу нескольких газов. Относительно высокая погрешность измерения концентраций газов ограничивает область их применения. Для снижения погрешности, связанной с перекрестной чувствительностью газоанализаторов, используются высоко-селективные электрохимические и оптические датчики.

Но им свойственны низкое быстродействие, чувствительность к вариациям давления и температуры окружающей среды, высокая стоимость. Электрохимические датчики дополнительно имеют малый срок службы и высокую нестабильность характеристик.

Отмеченные недостатки существенным образом снижают эффективность многокомпонентных газоанализаторов. Так, малый срок службы не допустим в экстремальных условиях эксплуатации (например, на подводных лодках и надводных кораблях), высокая нестабильность критична для систем управления и защиты ядерных объектов (например, на АЭС). Низкое быстродействие недопустимо при контроле быстропротекающих технологических процессов (например, при оценке состояния взрывоопасных смесей), чувствительность к вариациям давления и температуры окружающей среды приводит к дополнительным погрешностям измерения концентрации газов, а высокая стоимость значительно ограничивает область применения.

Газочувствительные датчики полупроводникового и каталитического типов имеют малое время отклика, большой срок службы, низкую стоимость и не являются перспективными для применения из-за низкой селективности. Общим недостатком таких датчиков является чувствительность к влиянию факторов окружающей среды, таких как температура, давление и влажность.

Признано, что для повышения селективности эффективно применение аппарата искусственных нейронных сетей (профессор Борисов И. А., 2002, профессор Шапошник А. В., 2005, профессор Замятин Н. В., 2007, профессор Сысоев В. В., 2009, профессор Калач А. В., 2009).

Для снижения чувствительности многокомпонентных газоанализаторов к факторам окружающей среды используют технологические и технические решения: пробоподготовку газовой смеси, методы температурной компенсации газочувствительных датчиков, импульсный режим нагрева газочувствительных датчиков для снижения влияния влажности.

При этом аппарат нейронных сетей используется в основном для решения вопросов распознавания состава газовых смесей, а при количественном анализе газовых смесей не учитывается влияние факторов окружающей среды, что вносит значительные погрешности при совместной обработке сигналов

газочувствительных датчиков. Технологические решения не обеспечивают требуемый уровень погрешностей, обусловленных влиянием факторов окружающей среды, и сильно увеличивают время реакции газоанализаторов.

Для решения широкого класса задач (контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны химических предприятий, предприятий нефтегазовой промышленности, контроль параметров воздушной среды на предприятиях атомной промышленности и подводных лодках, контроля и автоматизации технологических процессов, раннее обнаружение пожаров и т. п.) требуется обеспечивать не столько распознавание газовых смесей, сколько определение концентраций компонентов.

Отсюда следует **актуальность** создания многокомпонентных газоанализаторов на основе нейронных сетей, обеспечивающих одновременное проведение количественного анализа для установления концентраций компонентов, повышение селективности и снижение чувствительности к факторам окружающей среды.

Объектом исследования являются структуры многокомпонентных газоанализаторов.

Предмет исследования – модели, методы и алгоритмы определения концентраций газов в смесях.

Целью работы является снижения погрешностей измерений при определении концентраций газов в многокомпонентных газоанализаторах при воздействии температуры, влажности, давления, при наличии перекрестной чувствительности к газам.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

1. Оценка современного состояния проблемы снижения погрешностей измерений при определении концентраций газов многокомпонентными газоанализаторами и воздействии температуры, влажности и давления при наличии перекрестной чувствительности к газам.

2. Разработка математической модели процессов преобразования в газочувствительных датчиках.

3. Обоснование выбора аппарата искусственных нейронных сетей как формальной модели для определения концентрации газов при воздействии внешних возмущающих факторов.

4. Разработка структуры многокомпонентного газоанализатора, обеспечивающей низкие погрешности измерения.

5. Создание программно-аппаратного комплекса для оптимизации структуры многокомпонентного газоанализатора.

Методы исследования. При разработке функций преобразования полупроводникового и каталитического датчиков использовались электронная теория хемосорбции на поверхности полупроводников, адсорбционная теория гетерогенного катализа и теория электрических цепей. В работе использовались искусственные нейронные сети из нейробиологической теории, имитационное моделирование, численные методы моделирования, теория измерительных систем (методы последовательного преобразования сигналов и мостовых схем) и методы автоматизированного проектирования их элементов.

Достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается: корректным использованием существующих теоретических методов исследования, соответствием расчетных и экспериментальных (приводимых изготовителем датчиков) результатов и поэлементным тестированием создаваемой системы.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Предложена функция преобразования полупроводникового датчика угарного газа, базирующаяся на физико-химических закономерностях, лежащих в основе его принципа действия, отличающаяся комплексным учётом влияния основных воздействующих факторов окружающей среды, таких как давление, температура и влажность, а также перекрестной чувствительности к мешающему газу водороду.

2. Предложена функция преобразования каталитического датчика водорода, базирующаяся на физико-химических закономерностях, лежащих в основе его принципа действия, отличающаяся комплексным учётом влияния основных воздействующих факторов окружающей среды, таких как давление и температура, перекрестной чувствительности к мешающему угарному газу, а также взаимного влияния электрически нагруженных активного и пассивного элементов датчика и нелинейности мостовой схемы.

3. Использована нейронная многослойная сеть прямого распространения, отличающаяся наличием двух видов обработки выходных сигналов датчиков, обладающих взаимной перекрестной чувствительностью, и селективных датчиков для понижения погрешностей определения концентрации газов при воздействии внешних возмущающих факторов.

4. Дополнен процесс обработки сигналов датчиков каналом вычисления концентрации кислорода методом линейного преобразования исходных сигналов.

5. Предложен метод обучения, входящих в состав многокомпонентного газоанализатора нейронных сетей, основанный на принципе обучения с учителем, отличающийся использованием результатов имитационного моделирования концентраций газов и соответствующих им выходных сигналов датчиков с учетом воздействия внешних возмущающих факторов, позволяющий снять ограничения по использованию нейронных сетей для обработки сигналов датчиков в многокомпонентных газоанализаторах, связанные с необходимостью проведения значительного числа экспериментов.

Положения, выносимые на защиту: на защиту выносятся положения, составляющие научную новизну диссертационного исследования.

Практическая ценность работы состоит в следующем:

1. Получены функции преобразования газочувствительных датчиков полупроводникового и каталитического типов, базирующиеся на физико-химических закономерностях, лежащих в основе их принципа действия, и учитывающие влияние внешних возмущающих факторов.

2. Предложена структура и разработан программно-аппаратный комплекс для оптимизации структуры многокомпонентных газоанализаторов на

основе нейронных сетей (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614022).

3. Предложены измерительные схемы каталитического и полупроводникового газочувствительных датчиков, позволяющие уменьшить погрешности от влияния температуры окружающей среды.

4. Проведена разработка схмотехники многокомпонентного газоанализатора для системы контроля параметров воздушной среды.

5. Разработано устройство (патент РФ № 2446005) газосмесительной установки для исследований характеристик газочувствительных датчиков и калибровки многокомпонентных газоанализаторов, отличающееся использованием компенсационной камеры и дифференциального манометра, что позволяет повысить точность приготовления образцовых газовых смесей при экономии расхода исходных чистых газов.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы нашли применение в учебном процессе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Юго-Западный государственный университет» на кафедре «Конструирования и технологии электронных вычислительных средств», а также использованы при проектировании нового поколения газоанализаторов, входящих в систему контроля параметров воздушной среды (СКПВС), и в создаваемой в ОАО «Курский завод «МАЯК» газосмесительной установке для испытания газоанализаторов.

Апробация результатов работы проводилась на научных конференциях: Региональной конференции «Инновационные научно-технические разработки и направления их реализации. Инновация – 2010» (Курск, 2010 г.), 2-й Международной научно-технической конференции «Информационно-измерительные диагностические и управляющие системы. Диагностика – 2011» (Курск, 2011 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Интеллектуальные и информационные системы» (Тула, 2011 г.), 1-й Международной научно-практической конференции «Инновационные информационные технологии» (Прага, 2012 г.), Международной заочной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования: прошлое, настоящее, будущее» (Тамбов, 2012 г.).

Публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы отражены в 12 публикациях, из которых 5 опубликованы в изданиях, рекомендуемых перечнем ВАК, в патенте на изобретение и свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 133 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 17 таблиц, список литературы из 132 наименований и 4 приложений объемом 12 страниц. Общий объем 159 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, показаны научная новизна и практическая значи-

мость полученных результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту. Представлен краткий обзор структуры диссертации.

В первой главе выполнен обзор работ, посвященных проблеме снижения погрешностей измерений при определении концентраций компонентов газовых смесей многокомпонентными газоанализаторами при воздействии внешних возмущающих факторов. В результате анализа рынка выпускаемых промышленностью газоанализаторов и газочувствительных датчиков сделаны выводы о целесообразности использования каталитических и полупроводниковых датчиков, а также методов совместной обработки сигналов, с целью повышения общей эффективности многокомпонентных газоанализаторов. Проведен обзор методов обработки информации в многокомпонентных газоанализаторах, показавший эффективность использования аппарата нейронных сетей для снижения погрешностей определения концентраций компонентов газовых смесей. Выявлено основное ограничение применения данного метода и предложены направления исследования для его преодоления.

Вторая глава посвящена моделированию функций преобразования газочувствительных датчиков, учитывающих влияние внешних факторов, для создания их имитационных моделей, необходимых для преодоления основного ограничения при применении аппарата нейронных сетей, связанного с необходимостью проведения большого числа трудоемких и дорогостоящих экспериментальных работ для обучения и тестирования нейронных сетей. Учитывая, что имитационные модели должны обладать экстраполяционными свойствами, построение функций преобразования осуществлялось на основании физико-химических процессов, лежащих в основе принципа работы датчиков. В связи с зависимостью параметров функций от конструктивных особенностей датчиков, их значения определялись с помощью параметризации методом наименьших квадратов в среде Matlab 7.10 по реальным данным.

Моделирование функции преобразования полупроводникового датчика угарного газа. Проводимость чувствительного слоя полупроводникового датчика зависит от концентрации свободных электронов, которая пропорциональна доле поверхности, занимаемой адсорбированным газом (уравнение Фрейндлиха). Дополнительно учтены процессы, протекающие на поверхности чувствительного слоя полупроводника при изменении температуры, давления и влажности окружающей среды, а также наличие мешающего газа – водорода, к которому этот датчик также чувствителен:

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{1}{(A_1 + A_2(C_{H_2O} \frac{P}{P_0})^{n_1} + A_3(C_{H_2O} \frac{P}{P_0})^{n_1} (C_{CO} \frac{P}{P_0})^{n_2} + A_4(C_{CO} \frac{P}{P_0})^{n_2} + \dots + A_6(C_{H_2O} \frac{P}{P_0})^{n_1} (C_{H_2} \frac{P}{P_0})^{n_3} + A_7(C_{H_2} \frac{P}{P_0})^{n_4}) \times e^{A_8(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} + A_5},$$

где R_s – сопротивление чувствительного элемента; R_0 – сопротивление чувствительного элемента при концентрации CO – 0,01 % объема и относительной влажности 50 %; A_i, n_i – параметризуемые константы, зависящие от при-

роды адсорбирующегося на поверхности газа и свойств чувствительного элемента датчика; C_i – объёмные концентрации водяных паров, монооксида углерода и водорода в воздухе, % об.; P_0 – давление при нормальных условиях (101,3 кПа); P – атмосферное давление (кПа); T_0 – температура при нормальных условиях (293,16 K); T – температура окружающей среды (K).

Параметризация полученной функции преобразования проводилась по характеристикам датчика монооксида углерода TGS2442 фирмы Figaro, приводимым производителем. Максимальная относительная погрешность полученной модели равна 5 %. Максимальные относительные погрешности воспроизведения экспериментальных данных по влиянию параметров среды составили: по влиянию относительной влажности воздуха (в диапазоне от 10 до 90 %) – от 0,59 до 16 % в зависимости от концентрации CO; по влиянию температуры (в диапазоне от -5 до $+50$ °C) до 29 % (преимущественно на концах указанного температурного диапазона, в диапазоне температур от $+10$ до $+40$ °C – 10 %); по влиянию перекрёстной чувствительности к концентрации мешающего газа (водорода) – 0,9 %.

Моделирование функции преобразования каталитического датчика водорода. В основе физико-химических процессов, протекающих на поверхности чувствительного элемента каталитического датчика, лежат процессы гетерогенного каталитического окисления, происходящие на поверхности каталитического слоя при адсорбции и десорбции газов. При этом мощность химического тепловыделения зависит от скорости реакции окисления, а она определяется долей поверхности чувствительного слоя, занимаемой адсорбированным газом (кинетика Ленгмюра – Хиншеллуда). Эта доля определяется согласно изотерме адсорбции Ленгмюра. При построении функции преобразования каталитического датчика было также учтено влияние нелинейности мостовой схемы включения и взаимное влияние элементов датчика.

При дополнительном учёте влияния перекрёстной чувствительности к другим газам, давлению и температуре построена многофакторная модель каталитического датчика водорода:

$$\frac{\Delta U}{2\Delta U_{0,5LEL}} = \frac{\frac{g}{\zeta} A_1 \frac{\alpha}{\zeta} \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \frac{\ddot{\theta}}{\zeta} \exp\left\{\frac{\epsilon A_4 \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \dot{u}}{\hat{\theta} (1 + \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \dot{u})}\right\} + A_5 C_{CO} P \frac{\ddot{\theta}}{\zeta}}{\frac{g}{\zeta} A_1 \frac{\alpha}{\zeta} \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \frac{\ddot{\theta}}{\zeta} \exp\left\{\frac{\epsilon A_4 \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \dot{u}}{\hat{\theta} (1 + \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \dot{u})}\right\} + A_5 C_{CO} P \frac{\ddot{\theta}}{\zeta}},$$

$$+ \frac{\frac{\alpha}{\zeta} A_1 \frac{\alpha}{\zeta} \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \frac{\ddot{\theta}}{\zeta} \exp\left\{\frac{\epsilon A_4 \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \dot{u}}{\hat{\theta} (1 + \sqrt{A_2 C_{H_2} P} \dot{u})}\right\} + A_5 C_{CO} P \frac{\ddot{\theta}}{\zeta}}{\frac{\alpha}{\zeta} A_1 \frac{\alpha}{\zeta} \sqrt{A_2 2P_0} \frac{\ddot{\theta}}{\zeta} \exp\left\{\frac{\epsilon A_4 \sqrt{A_2 2P_0} \dot{u}}{\hat{\theta} (1 + \sqrt{A_2 2P_0} \dot{u})}\right\} + A_5 C_{CO} P \frac{\ddot{\theta}}{\zeta}} \frac{P}{P_0} (1 + gT_{CH})$$

$$+ 2d_{T_H} \frac{P}{P_0} (1 + gT_c)$$

где DU – выходное напряжение моста; $DU_{0,5LEL}$ – выходное напряжение моста при концентрации газа 0,5 LEL; A_i – параметризуемые константы, зависящие

от природы адсорбируемого газа и свойств чувствительного элемента; C_{H_2} , C_{CO} – объёмные концентрации водорода и монооксида углерода соответственно, % объема; P , P_0 – соответственно давление в момент измерения и номинальное давление, кПа, γ – температурный коэффициент сопротивления; δ_{T_n} – коэффициент теплоотдачи резистора; T_C – температура окружающей среды; T_{CH} – номинальная температура среды.

Параметризация функции преобразования каталитического датчика водорода производилась для датчика *NP-AHS* фирмы *Nemoto*. Максимальная относительная ошибка восстановления основной зависимости составила 1,6 %. Максимальная относительная погрешность расхождения реальных данных и результатов моделирования по влиянию вариаций давления (в диапазоне от 90 до 110 кПа) составила 9 %; абсолютная погрешность от влияния температуры (в диапазоне от +10 до +50 °C) – 0,04 %/°C.

В третьей главе разработан программно-аппаратный комплекс, применяемый для выбора структуры устройства совместной обработки сигналов датчиков многокомпонентного газоанализатора и обучения входящих в его состав нейронных сетей. Структура комплекса разработана на основе функционального подхода и приведена на рисунке 1.

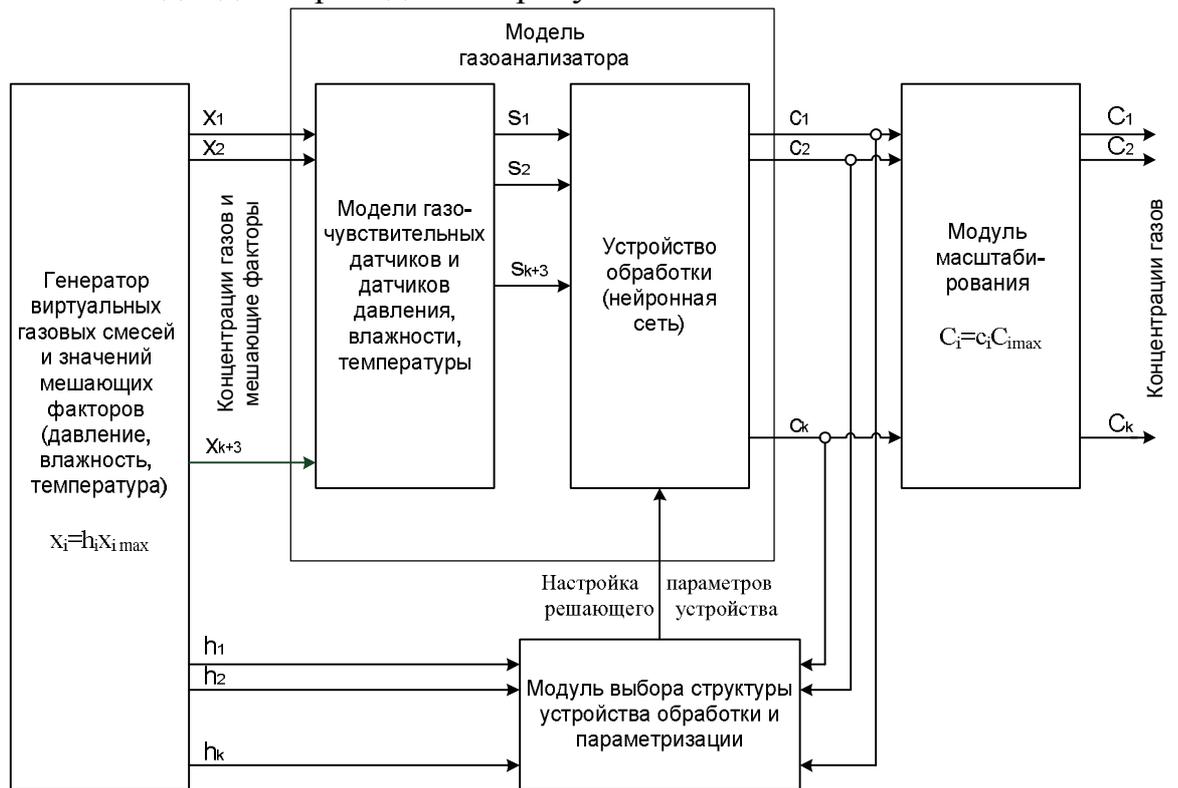


Рисунок 1 – Структура программно-аппаратного комплекса

Основными функциями комплекса являются: генерирование моделей газовых смесей задаваемого состава; моделирование функций преобразования газочувствительных датчиков с учётом основных влияющих факторов; моделирование функций преобразования датчиков параметров внешней среды (температуры, влажности и давления); моделирование откликов всех датчиков при подаче на их входы моделей газовых смесей с варьированием основ-

ных влияющих факторов; моделирование устройства совместной обработки сигналов датчиков на основе искусственной нейронной сети (ИНС) с возможностью варьирования их структуры, конфигурации и проведения обучения; обеспечение возможности анализа точности и устойчивости получаемых алгоритмов совместной обработки путём принудительного варьирования задаваемых удельных концентраций составляющих газовых смесей и влияющих факторов внешней среды и оценки реакции устройства обработки на эти изменения.

Генератор виртуальных газовых смесей формирует наборы значений переменных, эквивалентных концентрациям компонент газовой смеси и значениям мешающих факторов (давления, температуры и влажности).

Модели датчиков давления, влажности и температуры представлены простейшими линейными функциями преобразования.

Устройство обработки по нормированным выходным сигналам датчиков для каждого набора входных переменных вычисляет нормированные значения концентраций компонент газовой смеси. Модуль масштабирования пересчитывает их в объёмные концентрации газов умножением на максимальную концентрацию соответствующего газа. Исследования различных архитектур ИНС показали, что наилучшей для данных целей является многослойная ИНС прямого распространения. Модуль выбора структуры устройства обработки предоставляет оператору возможность управления и осуществляет обучение входящих в состав устройства ИНС, для чего используются инструментальные средства пакета MatLab. Весь комплекс функционирует на персональном компьютере.

Минимальное количество настраиваемых коэффициентов при одинаковом уровне погрешностей достигается при разделении устройства обработки на три независимых блока (рисунок 2).

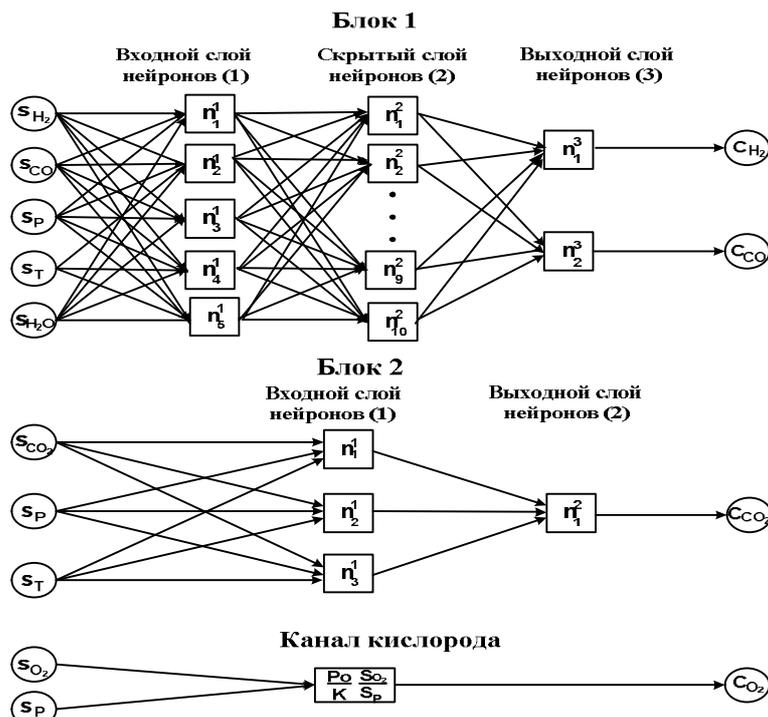


Рисунок 2 – Структура устройства обработки

На рисунке: S_{H_2} , S_{CO} , S_{CO_2} , S_P , S_T , S_{H_2O} , S_{O_2} – нормированные сигналы датчиков водорода, угарного газа, углекислого газа, давления, температуры и влажности соответственно; n_i^j – i -ый нейрон j -го слоя; C_{H_2} , C_{CO} , C_{CO_2} , C_{O_2} – нормированные объёмные концентрации соответствующих газов.

В блоке 1 обрабатываются сигналы каталитического и полупроводникового датчиков и датчиков давления, температуры и влажности, а на выходе сети формируются концен-

трации угарного газа и водорода (структура сети 5-10-2, 112 коэффициентов). Во втором блоке обрабатываются сигналы оптического датчика, а также датчиков давления и температуры, и на выходе сети формируется концентрация углекислого газа (структура сети 3-3-1, 16 коэффициентов). Линейность функции преобразования датчика кислорода, отсутствие перекрёстной чувствительности к другим газам и чувствительность только к давлению, позволяет выделить автономный канал для обработки его сигнала, не использующий ИНС.

Достигнутые значения приведенных среднеквадратичных погрешностей соответственно составляют для каналов: угарного газа – 0,58 %, водорода – 0,12 %, углекислого газа – 0,15 %.

На рисунках 3 и 4 приведены диаграммы относительных погрешностей, характеризующие эффективность подавления взаимной перекрёстной чувствительности датчиков к водороду и угарному газу в сравнении с экспериментальными данными производителей. Согласно этим диаграммам, для полупроводникового датчика угарного газа, погрешность от влияния водорода снижается в 10 и более раз, а для каталитического датчика водорода – в 6-10 раз.

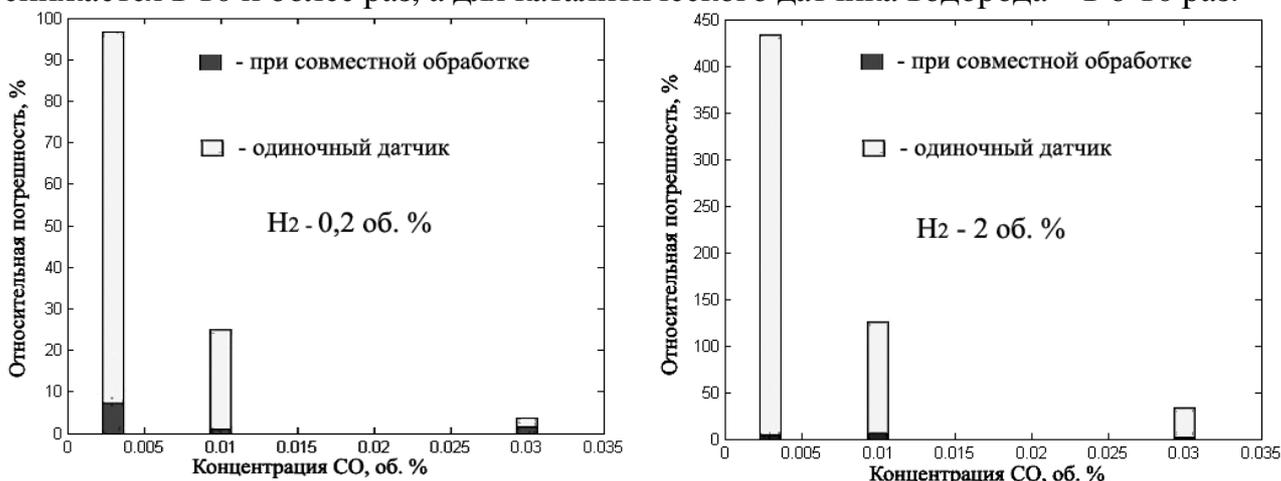


Рисунок 3 – Эффективность подавления перекрёстной чувствительности к водороду устройством обработки на основе ИНС

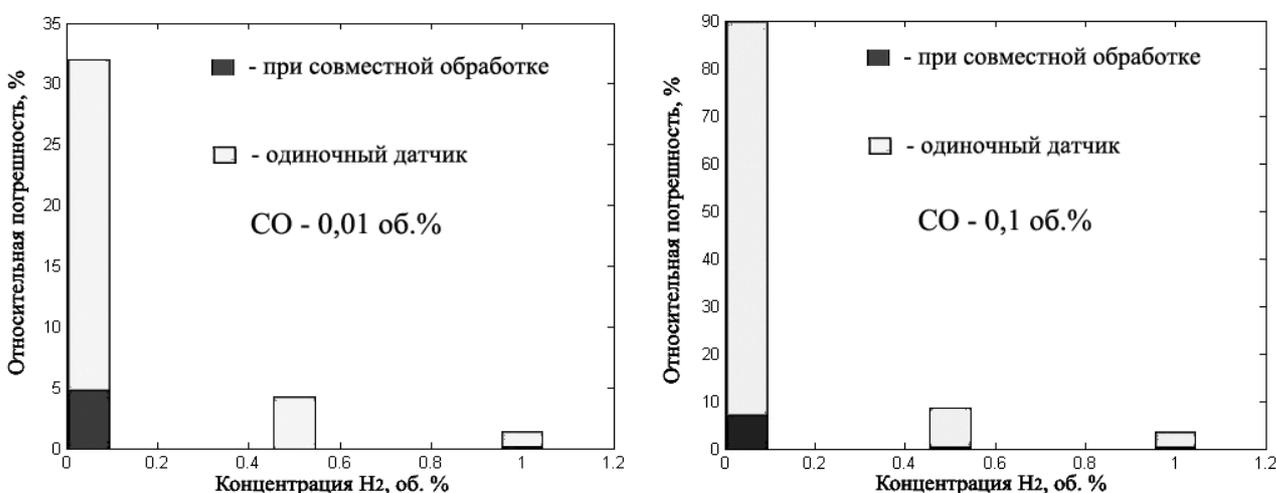


Рисунок 4 – Эффективность подавления перекрёстной чувствительности к угарному газу устройством обработки на основе ИНС

Проведено сравнение погрешностей определения концентрации газов, полученных до и после применения метода обработки, при воздействии внешних возмущающих факторов: вариаций давления (95 – 110 кПа), температуры (от +10 до +50 °С), относительной влажности в диапазоне (10 – 90) %.

Таблица 1 – Относительные погрешности определения концентрации газов при воздействии внешних возмущающих факторов

Влияющий фактор	Н ₂ (0-4 об. %)		СО (0,003 - 0,1 об.%)		СО ₂ (0 - 5 об. %)	
	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки
РН, %/10%	-	-	7,7	1,5	-	-
Т, %/10 ⁰ С	1,2	0,15	20	3,3	3,2	0,85
Р, %/5кПа	3	0,35	5,7	1,2	5	0,77

Четвертая глава содержит описание многокомпонентного газоанализатора и его функциональных узлов. Приведены структура и описание программы ЭВМ, предназначенной для проектирования многокомпонентных газоанализаторов, и описана предложенная автором газосмесительная установка статического типа, отличающаяся пониженным расходом чистых газов и обеспечивающая меньшую величину относительной погрешности за счёт использования компенсационной камеры и дифференциального манометра.

Поскольку обучение ИНС для многокомпонентного газоанализатора проводится на виртуальном исследовательском комплексе, в газоанализаторе используется уже обученная ИНС, реализация которой не требует больших вычислительных ресурсов, и вполне возможна на базе микроконтроллера.

Структурная схема газоанализатора представлена на рисунке 5.

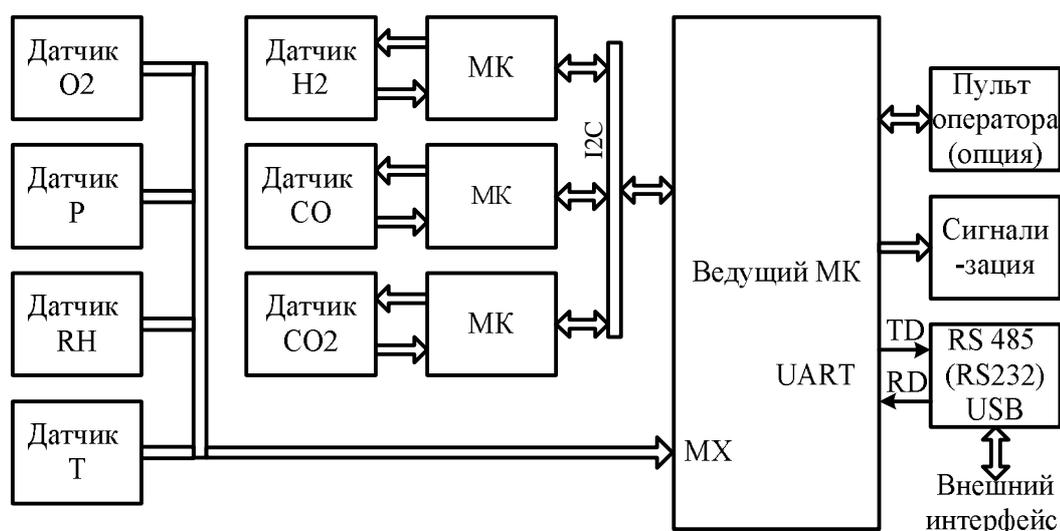


Рисунок 5 – Структурная схема многокомпонентного газоанализатора: МК – микроконтроллеры; МХ – мультиплексор аналоговых сигналов на входе встроенного в микроконтроллер АЦП; UART – универсальный асинхронный приёмо-передатчик; внешний двухпроводный интерфейс типа I2C.

В структуру входят газочувствительные датчики и датчики параметров окружающей среды, ведущий и ведомые микроконтроллеры. Ведущий микроконтроллер собирает данные с ведомых микроконтроллеров, газочувствительного датчика кислорода и датчиков параметров окружающей среды, и обрабатывает данные в соответствии с алгоритмами, реализующими ИНС.

Ведомые микроконтроллеры с АЦП преобразуют аналоговые сигналы датчиков в цифровую форму, осуществляют коррекцию и нормализацию сигналов, управляют импульсными режимами питания газочувствительных датчиков. Импульсное питание каталитического датчика водорода позволяет при сохранении средней потребляемой мощности повысить напряжение питания, что повышает чувствительность датчика к определяемому газу в три

раза и исключает дополнительный низковольтный стабилизатор напряжения.

Предложен вариант реализации изотермического режима (рисунок б), в котором стабильная температура чувствительного и компенсирующего элементов датчика обеспечивается широтно-импульсной модуляцией напряжения питания при поочередном включении элементов в контур регулирования. Информативным параметром является разность длительностей импульсов напряжения питания элементов датчика.

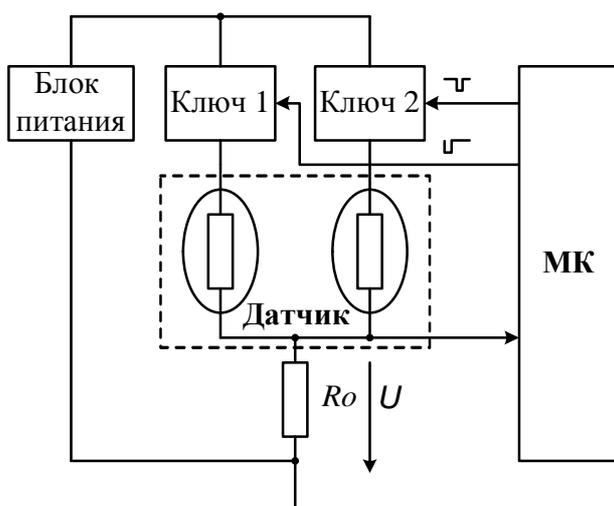


Рисунок б – Реализация изотермического режима работы каталитического датчика

Применение изотермического

режима работы каталитического датчика позволяет за счет поддержания постоянной температуры компенсирующего и чувствительного элементов датчиков отстроиться от влияния температуры окружающей среды. При этом также уменьшается нелинейность характеристики преобразования, полностью исключается нелинейность мостовой схемы и уменьшается вариация коэффициента теплового рассеяния.

Для снижения чувствительности полупроводникового датчика оксида углерода к температуре окружающей среды предложена схема стабилизации температуры чувствительного элемента с подогревом встроенного нагревателя выше наибольшей температуры окружающей среды. Датчиком температуры является сопротивление самого нагревателя.

Экспериментальные исследования характеристик газочувствительных датчиков и калибровка газоанализаторов осуществляются с помощью эталонных смесей. Для их приготовления предложена газосмесительная установка (рисунок 7). Газовые смеси готовятся напуском до заданного парциального давления чистых или разбавленных газов в вакуумированную камеру. Предложенное техническое решение отличается от существующих аналогов использованием компенсационной камеры и дифференциального манометра.

метра, подключаемого между камерой смешения и компенсационной камерой, что позволяет повысить точность приготовления образцовых газовых смесей при одновременной экономии расхода исходных чистых газов.

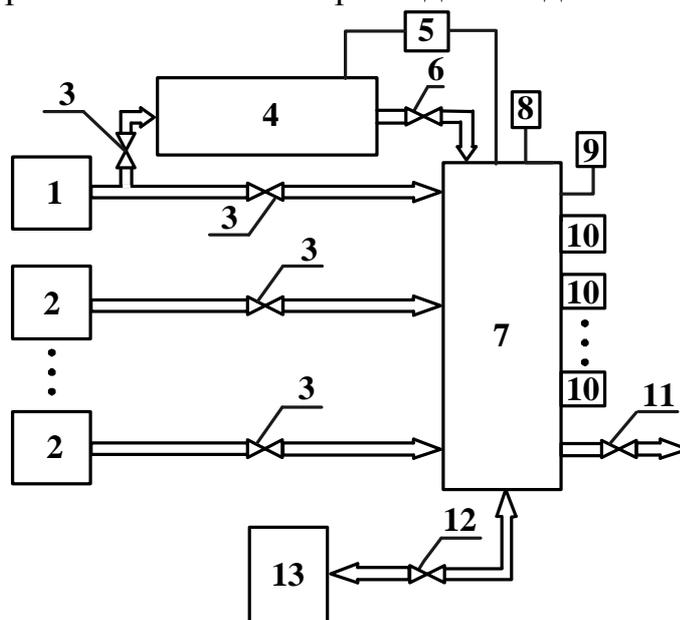


Рисунок 7 – Схема газосмесительной установки:

1 – баллон с газом разбавителем; 2 – баллоны с чистыми газами; 3,6,11,12 – вентили; 4 – компенсационная камера; 5 – дифференциальный манометр; 7 – смешительная камера; 8 – манометр, 9 – вакуумметр; 10 – штуцеры для подключения газовых датчиков; 13 – насос форвакуумный

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Достигнута основная цель диссертационного исследования - снижение погрешностей измерений при определении концентраций газов в многокомпонентных газоанализаторах при воздействии внешних возмущающих факторов. Погрешности при определении концентраций компонентов газовой смеси при воздействии факторов окружающей среды в среднем были снижены: по каналу водорода – в 8 раз, по каналу угарного газа – в 5 раз, по каналу углекислого газа – в 4 раза. Погрешности при определении концентраций газов, возникающие в результате перекрестной чувствительности датчиков, в среднем снижены в 6 раз. Решены следующие задачи:

1. Проведена оценка современного состояния проблемы снижения погрешностей измерений при определении концентраций газов многокомпонентными газоанализаторами при воздействии температуры, влажности, давления, при наличии перекрестной чувствительности к газам. На основании проведенного анализа сделаны выводы об актуальности создания многокомпонентных газоанализаторов на основе нейронных сетей, с целью снижения погрешностей определения концентраций газов при воздействии внешних возмущающих факторов. Предложено решение проблемы, ограничивающей

применение нейронных сетей в многокомпонентных газоанализаторах, связанной с их обучением.

2. Разработаны математические модели процессов преобразования в газочувствительных датчиках, которые использовались при обучении нейронных сетей методом имитации. Среднеквадратические погрешности воспроизведения градуировочных характеристик составили: для датчика угарного газа – 0,24%, для датчика водорода – 0,4%.

3. Обоснован выбор аппарата искусственных нейронных сетей как формальной модели для определения концентрации газов при воздействии внешних возмущающих факторов. Среди исследованных нейронных сетей различных архитектур, таких как, радиальная базисная сеть и ее модификации, сеть Элмана, многослойные нейронные сети прямого распространения, наименьшие значения среднеквадратических погрешностей (по каналу угарного газа - 0,5%, по каналу водорода – 0,26%, , по каналу углекислого газа – 0,12%) при минимальном количестве коэффициентов (155) показала последняя.

4. Разработана структура многокомпонентного газоанализатора, обеспечивающая низкие погрешности измерения. Применение блочных нейронных сетей позволило при сохранении уровня погрешностей снизить число коэффициентов сети до 128 и уменьшить время отклика, в сравнении с общей сетью, по каналу токсичных и горючих газов до 8 с. Достигнутые значения приведенных среднеквадратичных погрешностей при воздействии внешних влияющих факторов соответственно составили для каналов: угарного газа – 0,58%, водорода – 0,12%, углекислого газа – 0,15%.

5. Создан программно-аппаратный комплекс для оптимизации структуры многокомпонентного газоанализатора, позволяющий проводить обучение нейронных сетей методом имитации, что принципиально снижает трудоёмкость экспериментальных работ.

6. Разработана газосмесительная установка для исследований характеристик газочувствительных датчиков и калибровки многокомпонентных газоанализаторов, позволяющая повысить точность приготовления образцовых газовых смесей при экономии расхода исходных чистых газов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Дрейзин, В.Э. Сравнительный анализ характеристик промышленных газочувствительных датчиков / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева // Датчики и системы. - 2011. - № 3. - С. 68 - 78. (Личное участие 50 %)

2. Дрейзин, В.Э. Выбор сенсоров для разработки многосенсорного газоанализатора газовых смесей / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева // Безопасность жизнедеятельности. - 2011. - №4. - С. 5 - 11. (Личное участие 50 %)

3. Дрейзин, В. Э. Устройство обработки сигналов многокомпонентного газоанализатора / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева, О.Г. Бондарь // Приборы и Системы. Управление, контроль, диагностика. - 2011. - № 12. - С. 43 - 48 . (Личное участие 33 %)

4. Дрейзин, В.Э. Моделирование каталитического датчика водорода / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева, О.Г. Бондарь // Известия ЮЗГУ. – 2011. – Ч. 1, № 5(38). – С. 69 - 76. (Личное участие 33 %)

5. Брежнева, О.Е. Многофакторное моделирование функции преобразования металлооксидных датчиков СО / Е.О. Брежнева // Датчики и Системы. - 2012. - № 4. - С. 64 - 69.

В других журналах и изданиях:

6. Дрейзин, В.Э. Газосмесительная установка для экспериментальных исследований датчиков и газоанализаторов / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева // Материалы 2-ой Международной науч.-техн. конф. «Информационно-измерительные диагностические и управляющие системы. Диагностика 2011». – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2011. – С. 48 – 53. (Личное участие 50 %)

7. Дрейзин, В. Э. Моделирование газочувствительных датчиков / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева // Материалы 2-ой Международной науч.-техн. конф. «Информационно-измерительные диагностические и управляющие системы. Диагностика 2011». – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2011. – С. 53 – 59. (Личное участие 50 %)

8. Дрейзин, В. Э. Проблемы разработки и аппаратно-программной реализации мультисенсорных газоанализаторов / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева // Материалы регионального семинара «Инновационные научно-технические разработки и направления их реализации. Инновация – 2010». – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 7 – 14. (Личное участие 50 %)

9. Дрейзин, В.Э. Искусственные нейронные сети в многокомпонентных газоанализаторах / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева, О.Г. Бондарь // Материалы Всероссийской научно-техн. конф. «Интеллектуальные и информационные системы». – Тула: Тульский гос. ун-т, 2011. – С. 21 – 24. (Личное участие 33 %)

10. Пат. Российской Федерации № 2446005, МПК В01F15/04. Устройство для приготовления многокомпонентных газовых смесей / В.Э. Дрейзин, Е.О. Брежнева – №2010130366; заявл. 20.07.2010; опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9.-6 с. (Личное участие 50 %)

11. Брежнева, Е.О. Исследовательский комплекс для проектирования многокомпонентных газоанализаторов на основе искусственных нейронных сетей / Е.О. Брежнева // Инновационные информационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции. Под ред., С. У. Увайсова. – М.: МИЭМ, 2012. – С. 375 – 377. (Прага, 23-27 апреля 2012 г.) – ISBN 978-5-94506-317-4

12. Брежнева, Е.О. Метод калибровки многокомпонентных газоанализаторов при деградации и замене датчиков / Е.О. Брежнева // Актуальные проблемы науки и образования: прошлое, настоящее, будущее: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 29 марта 2012 г.: в 7 частях. Часть 1. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2012. – С. 37 – 38.

13. Брежнева, Е.О. Многокомпонентный газоанализатор с обработкой сигналов датчиков на основе искусственных нейронных сетей / Е.О. Брежнева // Актуальные проблемы науки и образования: прошлое, настоящее, будущее: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 29 марта 2012 г.: в 7 частях. Часть 1. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2012. – С. 38 – 40.

14. Брежнева, Е.О. Виртуальная система проектирования многокомпонентных газоанализаторов / Е.О. Брежнева // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614022. заявл. 11.03.2012. рег. 2.05.2012.

Подписано в печать 25.01.2013 г. Формат 60×84 1/16 .

Печатных листов 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 158.

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29.