

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОСЕНСОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ
ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА**

**APPLICATION OF PIEZOSENSORS FOR DETERMINATION OF COMPONENTS OF AIR
POLLUTANTS**

Синьков Н.П., студент 2 курса
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Sinkov N.P., 2nd year student
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Внукова С.В., кандидат физико-
математических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им.
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Vnukova S.V., PhD in Physics and
Mathematics, Associate professor
FSBEI HE «Voronezh State University of
Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov», Voronezh, Russia.

Кочетова Ж.Ю., доктор географических
наук, доцент, доцент
ФГКВБОУ ВО Военный учебно-научный
центр Военно-воздушных сил «Военно-
воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Воронеж, Россия.

Kochetova Z.Yu., DrSc in Geography, Docent,
Associate professor
FSOMEI HE Military Educational and
Scientific Centre of the Air Force
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force
Academy», Voronezh, Russia.

Аннотация. В настоящее время возрастает роль экологического мониторинга как одной из эффективных мер по улучшению качества окружающей среды. Определение загрязнителей воздуха известными инструментально-лабораторными методами – процесс длительный, дорогостоящий и требующий сложной математической обработки результатов. Как альтернатива предложен экспрессный, экономически оправданный и надежный способ определения компонентов загрязнителей воздуха с применением пьезосенсоров. В качестве объектов исследования выбраны основные компоненты газовых выбросов предприятий мебельного производства. Показано, что разработанный способ позволяет контролировать изменения качественного и количественного состава многокомпонентных смесей загрязнителей воздуха.

Ключевые слова: экологический мониторинг, загрязнители окружающей среды, газовые выбросы мебельных фабрик, пьезосенсор.

Abstract. Currently, the role of environmental control is increasing as one of the effective measures to improve the quality of the environment. Determination of air pollutants by known instrumental and laboratory methods requires a lot of time, complex mathematical processing of results, expensive reagents and equipment. As an alternative, an express, economically justified and reliable method for determining the components of air pollutants using piezosensors is proposed. The main components of gas emissions from furniture manufacturing enterprises were selected as objects

of research. It is shown that the developed method makes it possible to control changes in the qualitative and quantitative composition of gas emissions from furniture factories.

Keywords: environmental monitoring, environmental pollutants, gas emissions from furniture factories, piezosensor.

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных компонентов окружающей природной среды. Его состав может существенно изменяться за счет всевозможных примесей, которые обусловлены промышленной и хозяйственно-бытовой деятельностью человека. В настоящее время в год в атмосферу выбрасываются сотни миллионов тонн отходов промышленного производства. В мегаполисах функционирует огромное количество промышленных предприятий различного назначения, газовые выбросы которых представляют особую опасность для здоровья населения. Загрязнители воздуха, перемещаясь на большие расстояния, накапливаются в почвах и живых организмах, что приводит к необратимым последствиям: наносится колоссальный вред естественной и искусственной экосистеме.

Мониторинг загрязнителей атмосферного воздуха – непростая задача, включающая работу со сложной по составу многокомпонентной смесью и экспрессное избирательное определение содержания ее компонентов на уровне концентраций, не превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК). Наиболее распространенные инструментально-лабораторные методы контроля загрязнения атмосферы представлены в таблице 1 [1]. Методы непрерывного контроля загрязнителей воздуха с автоматической регистрацией данных являются наиболее совершенными. Они позволяют получить достаточно полную характеристику загрязнения, но при этом являются дорогостоящими, требующими больших временных затрат и сложной математической обработки результатов измерения.

Таблица 1 - Инструментально-лабораторные методы контроля загрязнения атмосферы

Методы	Краткое описание
Полярографический	Анализ микропримесей, содержащихся в различных агрегатных состояниях, на основе их выделения с помощью аспирации через фильтры, поглотительные растворы или адсорбенты и перевода в раствор, состав которого указывается в полярографических методиках.
Оптические: фотоколориметрический, спектрометрический, люминесцентный (в том числе лазерный и хемилюминесцентный)	Контроль загрязнителей воздуха, основанный на определении степени поглощения света растворами в зависимости от концентрации загрязнения с помощью современных аппаратов: абсорберов, фотоэлектроколориметров, спектрофотометров.
Газохроматографический	Разделение и анализ смесей газовых выбросов, основанный на различной сорбционной способности компонентов.
Масс-спектрометрический	Идентификации загрязнителей по масс-спектрам, образующимся в результате ионизации исходного газа под действием электронов или других видов излучения.
Электрохимические	Использование специальных датчиков на основе электрохимических элементов, действующих по принципу процесса электролиза, с регулируемым потенциалом при управляемой диффузии.

В настоящее время актуальность приобретает разработка экспрессных, экономически оправданных и надежных способов определения компонентов загрязнителей воздуха на уровне ПДК, ведутся интенсивные работы по созданию газоанализаторов автоматического действия без предварительного пробоотбора и подготовки проб к анализу [2].

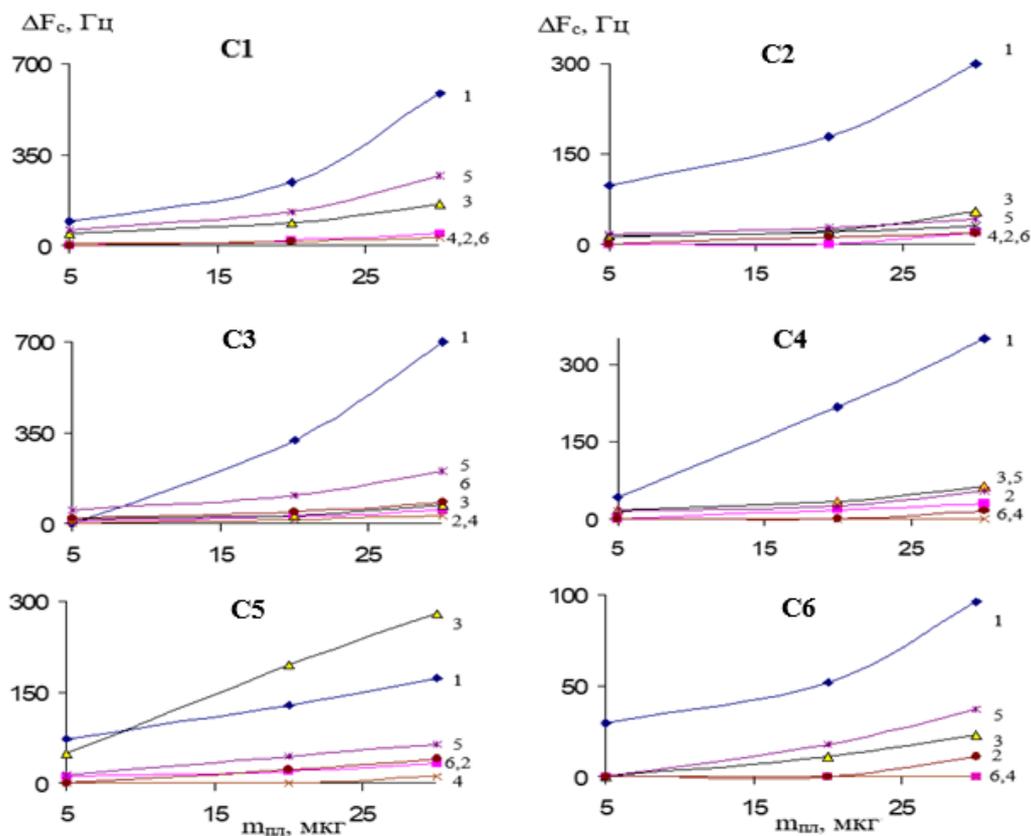
В связи с этим, целью работы является разработка экономичного и надежного способа определения компонентов загрязнителей воздуха с применением универсального измерительного устройства на основе пьезосенсора.

В качестве объектов исследования выбраны основные компоненты газовых выбросов мебельных фабрик, к которым относятся: н. бутилацетат, толуол, ацетон, н. бутиловый и этиловый спирты, формальдегид, аммиак. Их негативное влияние на здоровье населения является общепризнанным фактом. Оно вызывает острые и хронические отравления, рост общей заболеваемости, развитие специфических и отдаленных последствий, поэтому содержание вышеперечисленных компонентов подлежит обязательному контролю.

Для детектирования основных загрязнителей атмосферного воздуха рабочей зоны предприятий мебельного производства в качестве чувствительных покрытий электродов пьезосенсоров были выбраны следующие сорбенты: полиэтиленгликоль-2000 (С1), полиэтиленгликоль сукцинат (С2), Тритон Х-100 (С3), пчелиный воск (С4), пчелиный клей (С5) и полистирол (С6) [3]. Нанесение выбранных сорбентов на идентичные в конструкционном плане и одинаковые по частотным характеристикам электроды осуществляли методом испарения капли [4]. Полученные пьезосенсоры закрепляли в держателях ячейки детектирования [5], в центр которой микрошприцем вводили приготовленную в термостатируемом генераторе с мешалкой газовую смесь основных компонентов выбросов мебельных предприятий. При этом диффузия паров легколетучих компонентов была относительно равномерной.

Чувствительность и надежность определения компонентов загрязнителей воздуха на уровне микроконцентраций определяется, главным образом, массой пленочного покрытия (модификатора) электродов пьезосенсора. Графики зависимости аналитического сигнала сорбции исследуемых компонентов газовых выбросов мебельных предприятий от массы модификатора представлены на рисунке 1. Из графиков видно, что с увеличением массы пленок возрастает чувствительность пьезосенсора. Например, С3 с массой пленочного покрытия до 10 мкг низко чувствителен, т.к. изменение частоты аналитического сигнала слабо различимо для всех компонентов. Однако, с увеличением массы модификаторов наблюдается повышение чувствительности пьезосенсора к отдельным компонентам: С3 – н. бутилацетату и этанолу; С5 – аммиаку и н. бутилацетату; С4 – н. бутилацетату. Поэтому для селективного определения компонентов газовых выбросов предприятий мебельного производства рекомендуется применять пьезосенсоры с оптимальными массами пленочных покрытий порядка 25 мкг. Для всех модификаторов, кроме С5, наблюдается преобладание сорбции н. бутилацетата (максимальный отклик пьезосенсора), что необходимо учитывать при раздельном определении компонентов сложной газовой смеси. Минимальный отклик дают ацетон, формальдегид, н. бутанол и толуол, следовательно, эти компоненты не будут мешать избирательному определению как н. бутилацетата, так и аммиака. На основе полученных результатов для селективного определения компонентов загрязнителей воздуха были выбраны

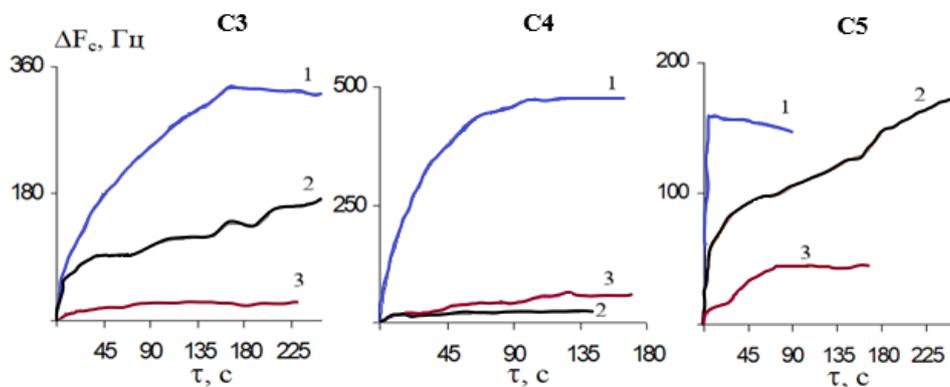
пьезосенсоры с наиболее чувствительными и устойчивыми пленочными покрытиями, которые обеспечивают минимальную погрешность анализа: C3, C4, C5 (матрица из трех сенсоров).



1 – н. бутилацетат; 2 – ацетон; 3 – аммиак; 4 – толуол; 5 – этиловый спирт;
6 – н. бутиловый спирт

Рисунок 1 – Зависимость аналитического сигнала сорбции компонентов газовых выбросов мебельных предприятий от массы модификатора

Исследование зависимостей аналитического сигнала сорбции наиболее активно сорбирующихся компонентов от времени на выбранных модификаторах (рисунок 2) позволило установить информативное время опроса единичного датчика.

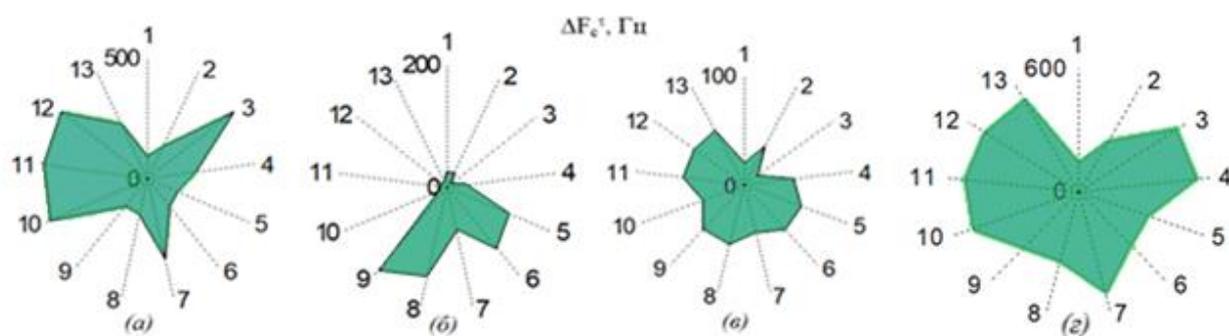


1 – н. бутилацетат; 2 – аммиак; 3 – этиловый спирт

Рисунок 2 – Зависимость аналитического сигнала сорбции некоторых компонентов газовых выбросов мебельных предприятий от времени на выбранных модификаторах

Из графиков видно, что сенсор на основе С3 рекомендуется опрашивать через 10 с и более после начала исследования, когда наблюдается суммарная сорбция н. бутилацетата и аммиака; С4 – при 90 с и более – преобладающая сорбция н. бутилацетата; С5 – при 165 с и более – сорбция аммиака.

Согласно полученным откликам пьезосенсоров построены «лепестковые» диаграммы сорбции отдельных компонентов на уровне ПДК (рисунок 3 а-в), вид которых индивидуален и не зависит от концентрации исследуемых компонентов. Оси на представленных диаграммах расположены в соответствии с порядком опроса сенсоров в трехсенсорной матрице.



а – н. бутилацетат; *б* – аммиак; *в* – этиловый спирт;

г – трехкомпонентная смесь н. бутилацетата, аммиака и этилового спирта

Рисунок 3 – «Лепестковые» диаграммы сорбции отдельных компонентов на уровне ПДК и их смеси в матрице из трех сенсоров

Смесь, моделирующую газоды выбросов предприятий мебельного производства, составляли из наиболее активно сорбирующихся на выбранных модификаторах компонентов, концентрации которых соответствовали их ПДК. Показания пьезосенсоров фиксировали в соответствии с порядком сорбции индивидуальных компонентов, установленным согласно полученным зависимостям их аналитического сигнала сорбции от времени [4, 6].

Идентификация отдельных компонентов проводилась на основе сопоставления диаграмм сорбции трехкомпонентной смеси со стандартными. На присутствие в смеси н. бутилацетата указывают характерно высокие и устойчивые отклики пьезосенсоров на основе С3 (рисунок 3г, ось 7) и С4 (рисунок 3г, оси 3, 10-12). Наличие аммиака подтверждается увеличением изменения частоты сигнала во времени для сенсора на основе модификатора С5 (рисунок 3г, оси 8, 9). Присутствие этилового спирта в смеси незначительно вследствие низких откликов пьезосенсоров на основе всех выбранных пленок. Изменение соотношения концентраций компонентов смеси приводит к изменению профиля диаграммы по информационным осям. Следовательно, разработанный способ пригоден для оценки количественного содержания компонентов в смеси.

Таким образом, сравнение диаграмм стандартных и анализируемых проб воздуха позволяет контролировать изменения качественного и количественного состава загрязнителей воздуха, в том числе и газовых выбросов предприятий мебельного производства.

В заключение хотелось бы отметить основные преимущества предложенного способа определения компонентов загрязнителей воздуха с применением пьезосенсоров: экономическая эффективность (недорогие и легкодоступные комплектующие, не требует

дорогих реактивов, многократное использование модифицированных сенсоров); универсальность (можно исследовать различные летучие вещества с помощью одной установки); экспрессность и простота исполнения эксперимента за счет исключения сложных математических расчетов полученных результатов (не требуется высокая квалификация сотрудников, диаграммы сорбции компонентов смеси получают по аналитическим сигналам в течение 4-4,5 мин.); мобильность (не требует дополнительных громоздких блоков); высокая надежность измерений.

Техническое решение отвечает современным социально-экономическим запросам и соответствует задачам, поставленным областной Думой в Законе о стратегии социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года, направленным на: «улучшение экологических условий жизнедеятельности населения; совершенствование системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций; минимизация воздействия отходов на окружающую среду» [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин, О.В. Контроль источников загрязнения атмосферного воздуха / О.В. Никитин. – Казань: Казанский университет, 2015. – 32 с.
2. Кучменко, Т.А. Инновационные решения в аналитическом контроле: монография / Т.А. Кучменко. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2009. – 251 с.
3. Король, А.Н. Неподвижная фаза в газожидкостной хроматографии / А.Н. Король. – Киев: Наукова думка, 1969. – 147 с.
4. Выбор массива пьезосенсоров для детектирования летучих органических веществ в воде / А.А. Шуба, Т.А. Кучменко, Е.И. Самойлова, Н.В. Бельских // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 2016. – Т. 57, № 1. – С. 53-61.
5. Патент на изобретение 2212657 РФ, МПК G01N27/12. Матричная пьезосорбционная ячейка детектирования / Т.А. Кучменко, Ю.К. Шлык, Я.И. Коренман; заявитель и патентообладатель ГОУ «ВГТА». – № 2002109000/28; заявл. 08.04.2002; опубл. 20.09.2003.
6. Патент на изобретение 2208785 РФ, МПК G01N33/14 C12G1/00. Способ идентификации коньяка / Т.А. Кучменко, Ж.Ю. Кочетова, Я.И. Коренман; заявитель и патентообладатель ГОУ «ВГТА» – № 2001117676/13; заявл. 25.06.2001; опубл. 20.07.2003.
7. Закон Воронежской области «О внесении изменений в приложение к закону Воронежской области «О стратегии социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года»: от 23.12.2019 № 165-ОЗ // Информационно-правовая база данных РФ. – URL: <https://ipbd.ru/doc/3600201912240001>.