

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ВИТИ НТУУ “КПИ”
Научно-исследовательская лаборатория **МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**
Кафедра “Применения средств радиосвязи” ВИТИ НТУУ “КПИ”
Кафедра “Применения средств специальных телекоммуникационных систем”
ИССЗИ НТУУ “КПИ”

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайская государственная педагогическая академия» (ФГБОУ ВПО «АлтГПА») *Кафедра социальной педагогики и педагогических технологий*
Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Благовещенский филиал Московской академии предпринимательства при Правительстве Москвы» (НОУ ВПО БФ МосАП) *Кафедра мировой и региональной экономики*
Кафедра Менеджмента, маркетинга, торгового дела и предпринимательства

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Первого Международного научно-практического симпозиума
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ



МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В
НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

7 мая
День Радио

посвящен

7 мая День Радио

Секция:
Химические науки

Киев, 7 мая 2012

Уважаемые коллеги!

Оргкомитет благодарит всех студентов, бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов, докторантов, научных, педагогических и научно-педагогических работников, которые активно приняли участие в организованном Первом Международном научно-практическом симпозиуме **«МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»**, посвящен 7 мая День Радио, организованный авторским коллективом учебных и научных заведений НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина.

Голова оргкомитету

Козубцов Игорь Николаевич, к.т.н., профессор РАЕ, заслуженный работник науки и образования РАЕ, ведущий научный сотрудник НИЛ №43 НЦЗИ ВИТИ НТУУ «КПИ», Украина, г. Киев

Заместители головы оргкомитету

Ильинов Михаил Дмитриевич, к.т.н., доцент, Преподаватель кафедры «Применения средств радиосвязи» ВИТИ НТУУ «КПИ», (Украина, г. Киев).

Мазор Сергей Юрьевич, к.т.н., Доцент кафедры «Применения средств специальных телекоммуникационных систем» ИССЗИ НТУУ “КПИ”, (Украина, г. Киев).

Мараховский Леонид Федорович, д.т.н., профессор, Профессор кафедры Государственного экономико-технологического университета транспорта, Украина, (Украина, г. Киев).

Масесов Николай Александрович, к.т.н., Слушатель Национального университета обороны Украины, (Украина, г. Киев).

Раевский Вячеслав Николаевич, к.т.н., с.н.с., Доцент кафедры «Применения средств радиосвязи» ВИТИ НТУУ «КПИ», (Украина, г. Киев).

Президиум организационного комитета:

Ананьин Валерий Афанасьевич, д.ф.н., профессор, Профессор кафедры ВИТИ НТУУ «КПИ», (Украина, г. Киев).

Беззубко Лариса Владимировна, доктор наук по государственному управлению, профессор, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, (Украина, г. Макеевка).

Бершадский Александр Моисеевич, д.т.н., профессор, Профессор кафедры, Пензенский государственный университет (Российская Федерация)

Васильев Константин Александрович, к.т.н., Старший преподаватель кафедры №33 ВИТИ НТУУ «КПИ», (Украина, г. Полтава).

Гиенко Любовь Николаевна, к.п.н., доцент, Доцент кафедры социальной педагогики и педагогических технологий, ФГБОУ ВПО «Алтайская государственная педагогическая академия» институт психологии и педагогики, (Российская Федерация).

Длугопольский Александр Владимирович, к.е.н., доцент, Доцент кафедры Экономической теории, Тернопольский Национальный экономический университет, (Украина, г. Тернополь).

Кайдаш Иван Никифорович, к.т.н., с.н.с., Ведущий научный сотрудник НИО №13 НЦЗИ ВИТИ НТУУ «КПИ», (Украина, г. Киев).

Кочетова Жанна Юрьевна, к.х.н., Старший преподаватель, Военный авиационный инженерный университет (Российская Федерация г. Воронеж);

Латышева Инна Валентиновна к.геогр.н., доцент, Доцент ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет, (Российская Федерация)

Макухин Владимир Леонидович, к.т.н., Старший научный сотрудник, ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, (Российская Федерация)

Мельников Александр Григорович, к.гос.упр-я, Директор Международно-правового департамента Администрации Государственной пограничной службы Украины, (Украина, г. Киев).

Москалева Людмила Юрьевна, д.п.н., доцент, Заведующий кафедры социальной педагогики и дошкольного образования Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого, (Украина, г. Мелитополь).

Новикова Ирина Викторовна, к.э.н., доцент, заведующая кафедрой мировой и региональной экономики Благовещенского филиала Московской академии предпринимательства при Правительстве Москвы (Российская Федерация)

Потемкин Владимир Львович, к.геогр.н., доцент, Старший научный сот рудник, ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, (Российская Федерация)

Стахов Алексей Петрович, д.т.н., профессор, академик Академии инженерных наук Украины, (Канада).

Стеценко Ирина Александровна, д.п.н., доцент, Декан факультета информатики и управления ФГБОУ ВПО «ТГПИ имени А.П. Чехова» (Российская Федерация).

Сухорукова Людмила Николаевна, д.п.н., профессор (Российская Федерация).

Таршилова Людмила Сергеевна, к.э.н., доцент, Руководитель отдела системы менеджмента качества и инноваций. Западно-Казахстанский аграрно-технический университета имени Жангир хана (Казахстан).

Тен Евгения Петровна, к.п.н., Доцент кафедры профессиональной педагогики и инженерной графики Республиканское высшее учебное заведение «Крымский инженерно-педагогический университет» (Украина, г. Симферополь).

Черномаз Павел Алексеевич, к.геогр.н, доц, Доцент кафедры международных экономических отношений, ХНУ имени В.Н. Каразина, (Украина, г. Харьков).

Чупров Леонид Федорович, к.псих.н, профессор РАЕ, Главный редактор Электронного научного журнала «Вестник по педагогике и психологии Южной Сибири», (Российская Федерация, Хакасия, г. Черногорск).

Шептенко Полина Андреевна – к. пед. н., профессор кафедры социальной педагогики и педагогических технологий ФГБОУ ВПО «Алтайская государственная педагогическая академия» институт психологии и педагогики, (Российская Федерация).

Міждисциплінарні дослідження в науці та освіті: Хімічні науки [Текст] / Збірник праць Першого Міжнародного науково-практичного симпозиума (7 травня 2012 р.): під ред. Ж.Ю. Кочетової [Електронний ресурс]. Междисциплинарные исследования в науке и образовании. – 2012. – №1 Sp. – Режим доступа URL: <http://www.es.rae.ru/mino/153> (дата звернення: 7.05.2012).

Междисциплинарные исследования в науке и образовании: Химические науки [Текст] / Сборник трудов Первого Международного научно-практического симпозиума (7 мая 2012 г.): под ред. Ж.Ю. Кочетовой [Электронный ресурс]. Междисциплинарные исследования в науке и образовании. – 2012. – №1 Sp. – Режим доступа URL: <http://www.es.rae.ru/mino/153> (дата обращения: 7.05.2012).

В СООТВЕТСТВИИ С ПОСТАНОВЛЕНИЕМ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ от 20 Июня 2011 г. N 475 к опубликованным работам, отражающим основные научные результаты диссертации, ПРИРАВНИВАЮТСЯ работы, опубликованные в материалах всесоюзных, всероссийских и международных конференций и симпозиумов, в электронных научных изданиях <http://правительство.рф/gov/results/15694/> См. п.10 Постановления

© НЦЗИ ВИТИ НГУУ «КПИ»

© МАН

© РАЕ

© Авторский коллектив

Содержание

ДЕТАЛЬ КАК СПОСОБ АВТОРСКОЙ ОЦЕНКИ В РОМАНЕ М.А. ШОЛОХОВА «ТИХИЙ ДОН»	Ошибка! Закладка не определена.
ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕКЛАДУ РЕКЛАМНИХ МАТЕРІАЛІВ У РОЗДІЛІ “КАР'ЄРА” НА ВЕБСАЙТАХ БАГАТОНАЦІОНАЛЬНИХ КОМПАНІЙ... Ошибка! Закладка не определена.	
СЛЕНГ ЯК МОВНЕ ТА КУЛЬТУРНЕ ЯВИЩЕ. ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕКЛАДУ СЛЕНГУ	Ошибка! Закладка не определена.
Библиографическая ссылка	18
Информационные партнеры	18
Об электронном научно-техническом журнале "Междисциплинарные исследования в науке и образовании"	19

УДК 543.07:54-13/16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ РОСЫ МЕТОДОМ ПЬЕЗОКВАРЦЕВОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ

к.х.н. Кочетова Ж.Ю.¹, д.ф.-м.н., проф. Базарский О.В.¹,

д.х.н., проф. Кучменко Т.А.²

¹ВАИУ (г. Воронеж), ²ВГУИТ

К перспективным измерителям точки росы следует отнести устройства, действие которых основано на принципе пьезокварцевого микровзвешивания. Чувствительным элементом в таких устройствах является пьезоэлектрический кварцевый резонатор (ПКР), характеризующийся низким температурным коэффициентом, высокой чувствительностью и экономичностью.

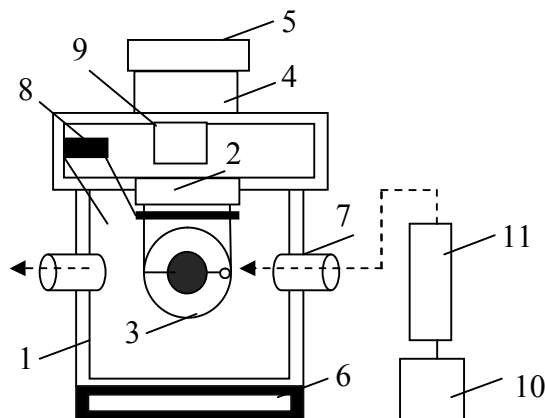
ПКР реагирует изменением собственной частоты колебаний при варьировании массы адсорбированного на его поверхности газообразного вещества. При этом изменение массы адсорбата, а, следовательно, и частоты колебаний резонатора, зависят от концентрации и состава адсорбируемых газовых сред [1, 2]. Принцип действия ПКР заключается в преобразовании аналитического сигнала, возникающего в результате взаимодействия исследуемой пробы с модификатором электродов резонатора, используемым для повышения чувствительности и селективности микровзвешивания газов, в физический сигнал – частоту колебаний F , Гц.

Цель работы – изучение сорбции паров воды на пленочных покрытиях электродов пьезокварцевых резонаторов в широком интервале температур и концентраций; обоснование выбора условий микровзвешивания паров воды и создание макета высокоточного устройства для определения точки росы.

Эксперимент проводили на одноканальном анализаторе газов «САГО» (ООО «Сенсорные технологии» [3]) в статическом инжекторном режиме. Анализатор состоит из герметичной термостатируемой ячейки детектирования (объем 25 см³) с держателем для ПКР; схемы возбуждения колебаний резонатора; частотомера; блока питания; дисплея с показанием изменения частоты колебаний ПКР. Для изучения сорбции паров воды газоанализатор был оснащен элементом Пельтье (ТЭМ 127 1,4-16), электронным термометром и блоком регенерации ячейки детектирования (рис. 1).

Насыщенные пары воды получали в герметично закрытых самоуплотняющимися пробками термостатируемых колбах. Диффузионное время релаксации паров вычисляли по уравнению Фика [4]. Насыщенные пары с рассчитанной по справочным данным концентрацией [5] отбирали пробоотборником и инжектировали в генератор газов [3]. Температуру паров $t_{п}$ в исходных источниках веществ и генераторе контролировали термометром в интервале от -2,0 до +50,0 °С. Время перемешивания газа в генераторе составляло ~3 мин [4]. Во избежание конденсации газов на стенках пробоотборника (медицинского шприца объемом 10 см³ с силиконовым уплотнителем) и ячейки детектирования, их предварительно термостатировали при температуре, равной $t_{п}$. Правильность концентраций смесей, приготовленных в генераторе, проверяли

методом газовой хроматографии.



1 – ячейка детектирования; 2 – держатель ПКР; 3 – ПКР; 4 – схема возбуждения колебаний ПКР; 5 – блок питания; 6 – дисплей; 7 – патрубки для ввода-вывода пробы и регенерации ячейки детектирования; 8 – элемент Пельтье; 9 – электронный термометр; 10 – насос; 11 – осушитель (силикагель)

Рис. 1 - Схема экспериментальной установки

Расчитанный объем газообразной пробы отбирали из генератора и инжескировали шприцем в ячейку детектирования. Наиболее высокие и воспроизводимые аналитические сигналы зафиксированы в ячейках с перпендикулярно направленным потоком газа к электродам сенсора. При параллельном направлении анализируемой пробы по отношению к электродам ПКР чувствительность микровзвешивания уменьшается в 2 раза, что согласуется с ранее установленными закономерностями сорбции в проточных ячейках детектирования [6].

Применяли пьезорезонаторы АТ-среза с серебряными электродами и собственной частотой колебаний 15 МГц. Предварительно оба электрода ПКР модифицировали методом погружения кварца в раствор сорбента с последующим статическим испарением несвязанного растворителя до получения устойчивой пленки. Полноту удаления несвязанного растворителя из пленочного покрытия электродов контролировали по стабильности аналитического сигнала во времени: дрейф частоты колебаний кварца не должен превышать уровень шума (± 2 Гц/мин).

Уменьшение частоты колебаний пьезокварцевого резонатора ΔF регистрировали с шагом 1 с от момента ввода пробы до установления равновесия в системе сорбат-сорбент или в ячейке детектирования.

Изменение массы покрытия, равномерно распределенной на кристалле вследствие напыления электродов, нанесения пленки модификатора или адсорбции вещества, в зависимости от изменения аналитического сигнала (ΔF , Гц) находили по уравнению Зауэрбрея [1, 2]

$$\Delta m = -\Delta F / K_f$$

где K_f – градуировочная константа пьезокварцевых микровесов, Гц/мкг; m – масса пленочного покрытия микровесов или адсорбата, мкг.

Оптимальные массы пленок-модификаторов электродов ПКР были установлены ранее по критериям наибольшей чувствительности микровзвешивания, воспроизводимости результатов анализа и устойчивости при многократно повторяющихся циклах сорбции-десорбции. Для выбранного сорбента $m = 15-25$ мкг [7].

Характеристики пьезокварцевого микровзвешивания главным образом зависят от природы модификатора электродов резонатора [6]. На основании полученных экспериментальных данных в качестве пленки-модификатора электродов ПКР для установления точки росы был выбран сорбент поливинилпирролидон (ПВП) [8]. На первом этапе работ определяли чувствительность микровзвешивания паров воды и сорбционную емкость пленки ПВП. Сорбционную емкость оценивали в жестких условиях сорбции: зонд с пьезосенсором помещали в герметично закрытый сосуд с нагретой до $50 \pm 0,1$ °С водой. Экспонирование пьезосенсора в насыщенных парах воды (равновесная концентрация в газовой фазе составляла $111,8$ г/м³) продолжали до установления равновесия в системе сорбат-сорбент. Пьезосенсоры на основе ПВП характеризуются высокими чувствительностью к парам воды (64 ± 1 Гц·м³/г), сорбционной емкостью ($5,4 \cdot 10^{-2}$), точностью микровзвешивания ($S_r < 3$ %), а также стабильностью базовой линии при многократно повторяющихся циклах сорбции-десорбции.

Для оценки селективности выбранного сорбента проводили микровзвешивание паров некоторых неорганических газов (диоксиды азота и серы, аммиак, сероводород), а также органических соединений различных классов (спирты, азотсодержащие соединения, фенолы, кетоны, альдегиды) с концентрациями, равными предельно допустимым в рабочей зоне [9]. Измерение аналитического сигнала сорбции паров химических веществ проводили в тех же условиях, что и паров воды. Концентрация воды соответствовала нормальному уровню относительной влажности (50–55 % относит.). Установлено, что ПВП проявляет высокое сорбционное сродство ко всем тестируемым соединениям, кроме оксидов серы и азота. Полярные молекулы органических соединений адсорбируются на пленке изученного модификатора более интенсивно, чем пары воды.

Проблема неселективности метода пьезокварцевого микровзвешивания решается с применением различных подходов:

1) разработка матрицы из нескольких пьезосенсоров с перекрестной чувствительностью к соединениям различной природы. Применение мультисенсорной матрицы значительно усложняет способ определения относительной влажности воздуха: требуются от 3 до 8 различных пьезосенсоров; необходима специальная программа визуализации и обработки массива откликов пьезосенсоров для проведения качественного и количественного анализов; увеличиваются энергопотребление датчика и его габаритные размеры, снижается мобильность; уменьшаются точность и надежность анализа вследствие различного «поведения» пленочных покрытий при перепадах температур [10, 11];

2) фиксированное время считывания аналитического сигнала для определения анализируемого компонента. Такой подход возможен при подборе пленочного покрытия электродов с кинетикой сорбции анализируемого компонента отличной от сопутствующих компонентов [7]. Для оценки кинетических

особенностей сорбции изученных соединений строили хроночастотограммы.

Установлено, что пары воды на тонких пленках ПВП адсорбируются в первые 5 с после инжектирования пробы влажного воздуха в ячейку детектирования. В системе «ПВП – пары воды» за этот интервал времени устанавливается адсорбционное равновесие, т.е. аналитический сигнал далее не изменяется во времени.

Интенсивная сорбция тестируемых сопутствующих соединений происходит через 10-15 с после инжектирования проб в ячейку детектирования. Следовательно, в начальный момент детектирования (до 5 с) сопутствующие компоненты не мешают определению воды.

Аномально высокие аналитические сигналы при сорбции паров воды на пленке ПВП и стабильность аналитического сигнала (отсутствие самопроизвольной десорбции при недостигнутом термодинамическом равновесии в ячейке детектирования) объясняется образованием в системе сорбат-сорбент водородных связей [5]. Принудительная регенерация пьезосенсора чистым осушенным лабораторным воздухом протекает в течение 1-2 мин, масса и структура пленочного покрытия ПВП при проведении 2500 циклов сорбция-десорбция изменяется незначительно ($\Delta m = 0,6 \%$). Нагревание воздуха до 40 °С ускоряет время регенерации пленочного покрытия ПВП в 2-2,5 раза.

Построены изотермы сорбции паров воды с температурами $t_{\text{п}} = 5, 20$ и 40 °С при соответствующих температурах в ячейке детектирования. Изотермы имеют вид *s*-образных кривых. При сорбции паров воды с $t_{\text{п}} = 5$ °С наблюдается увеличение аналитического сигнала. В то же время собственная частота колебаний пьезосенсора остается постоянной при понижении температуры без нагрузки парами воды, что согласуется с ранее полученными данными [1, 2]. Таким образом, увеличение ΔF вызвано не изменением частотных характеристик ПКР при низких температурах, а известными аномалиями свойств воды в диапазоне от 0 до 4 °С.

Изучена зависимость аналитического сигнала сорбции от температуры паров воды в интервале $(-2 \div 5) \pm 0,1$ °С. При понижении температуры до 0 °С аналитический сигнал сорбции незначительно возрастает, затем остается постоянным. В методе пьезокварцевого микровзвешивания ΔF зависит от массы сорбата и не должно существенно отличаться при изменении его температуры. В то же время известно, что в газовой фазе могут содержаться димеры воды H_4O_2 , причем с понижением температуры соотношение количества димеров к количеству мономеров повышается и может достигать 0,5 % [12]. Следует отметить, что вопрос влияния структурного состава паров воды на характеристики сорбции мало изучен. Благодаря высокой чувствительности ($10^{-12} - 10^{-7}$ г/см²) и низкому температурному коэффициенту [1] метод пьезокварцевого микровзвешивания наиболее перспективен для решения этой задачи.

Для определения начала фазового перехода воды (точки росы) проводили сорбцию паров с начальной температурой $t_{\text{п}} = 20$ °С. Аналитический сигнал измеряли при температурах в ячейке детектирования от 5 до -2 °С. В ячейку детектирования, содержащую ненасыщенный водяной пар с массой $m_0 = 217,5 \cdot 10^{-6}$ г, инжектировали насыщенные пары воды с массой $m_1 = 285,5 \cdot 10^{-6}$ г.

Относительная влажность в ячейке детектирования после инжектирования пробы составляла 84,1 %, что соответствует точке росы при температуре ~ 3 °С [13]. Экспериментально точка росы была установлена по возрастанию аналитического сигнала (рис. 2): ΔF скачкообразно увеличивается при температуре начала конденсации паров воды 4,0 °С, затем плавно повышается до 0 °С. При отрицательных температурах ΔF незначительно убывает.

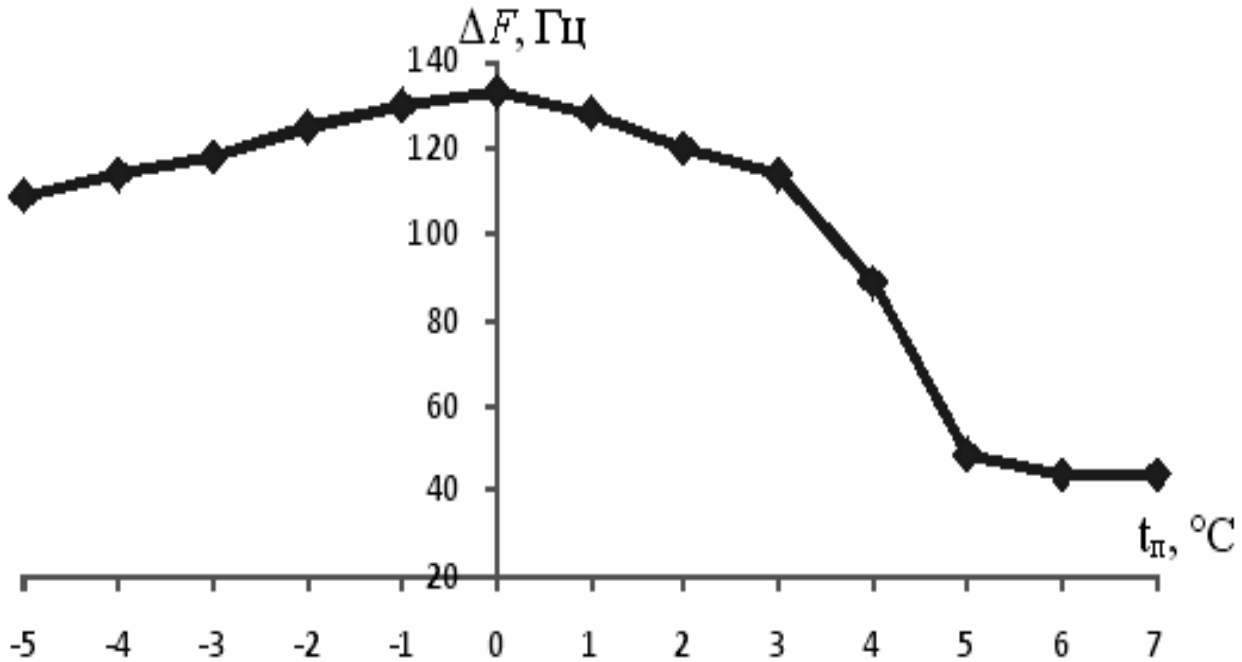


Рис. 2 - Изостера сорбции на пленке ПВП паров воды с концентрацией 11,5 г/м³

На аналитический сигнал в значительной степени влияет выделение тепловой энергии во время фазового перехода водяного пара в жидкое состояние при достижении температуры точки росы ($r = 2,48$ МДж/кг), при этом повышается давление водяного пара.

Расчет тепловой энергии Q (МДж), выделяющейся в ячейке детектирования при фазовом переходе воды, для изохорного процесса проводили по уравнению:

$$Q = (m_0 + m_1) \cdot c_v \Delta T,$$

где c_v – теплоемкость пара при постоянном объеме, Дж/К·кг; ΔT – приращение температуры при выделении теплоты фазового перехода.

Теплоемкость пара рассчитывали по соотношению:

$$c_v = iR/2M,$$

где $i = 6$ – число степеней свободы водяного пара; M – молярная масса водяного пара, кг/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К).

Следовательно, изменение температуры при конденсации паров воды зависит от соотношения m_0/m_1 и рассчитывается по уравнению (табл. 1):

$$\Delta t = m_1 \cdot r \cdot M / (3R(m_0 + m_1)) = r \cdot M / (3R(1 + m_0/m_1)).$$

Таким образом, приращение температуры может достигать ~ 2 °С. Для соотношения масс ненасыщенного и насыщенного паров воды $m_0/m_1 = 1,3$

температура на пленке ПВП повышается на 0,78 °С. Этот эффект значительно влияет на увеличение аналитического сигнала при температуре 4 °С.

Таблица 1 - Приращение температуры в ячейке детектирования при конденсации паров воды

m_0/m_1	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	1,43	1,19	0,90	0,72	0,60	0,51	0,45

Дальнейшее увеличение ΔF при температуре 2 °С можно объяснить с точки зрения Максвелловского распределения скоростей молекул пара в ячейке детектирования. Полностью конденсация имеющегося насыщенного и ненасыщенного пара происходит в интервале температур от 1 до 2 °С. Сначала конденсируются молекулы части насыщенного пара с низкими скоростями теплового движения (дигидроли). В это же время происходит охлаждение ненасыщенного пара до точки росы. На втором этапе конденсируется оставшаяся часть водяного пара с дальнейшим повышением температуры, и соответственно, возрастанием аналитического сигнала. Температуры конденсации для моно-, ди- и тригидролей воды могут быть разными и практически не изучены. Для разрыва дополнительных связей в кластерах воды требуется дополнительная энергия, и за точку росы можно условно принять середину интервала конденсации (3 °С), что соответствует расчетным данным.

При дальнейшем понижении температуры от 2 до 0 °С в системе «вода-насыщенные пары воды» наблюдается следующий фазовый переход – кристаллизация с выделением теплоты, равной 335 кДж/кг. Как и в случае конденсации сначала в твердую фазу переходят ди-, затем моногидроли. При этом происходит дальнейшее увеличение аналитического сигнала за счет энергии второго фазового перехода. При отрицательных температурах (до -2°С), достигнутых в эксперименте, аналитический сигнал медленно убывает в соответствии с уменьшением давления насыщенных паров над поверхностью льда, что согласуется с расчетными значениями.

Полученные экспериментальные данные легли в основу разработки нового устройства на основе пьезорезонатора, позволяющего с высокой точностью и надежностью определять точку росы. Понятие точки росы является наиболее удобным техническим параметром для измерения влажности воздуха. Метод пьезокварцевого микровзвешивания с большей точностью, чем известные позволяет определить точку росы для такого сложноструктурированного вещества как вода. При этом определяется температура начала конденсации паров воды в пленочном покрытии электродов ПКР, поэтому величина аналитического сигнала и процесс конденсации паров воды на стенках ячейки детектирования на точность анализа не влияют.

Для построения дифференциальных кривых сорбции (рис. 3) методом последовательного разбавления готовили растворы паровоздушных смесей с концентрациями 3,2-32 г/м³. Начальная температура в ячейке детектирования 30 °С была равна температуре инжектируемых паров воды. Охлаждение ячейки

детектирования осуществляли элементом Пельтье, начиная с момента ввода пробы.

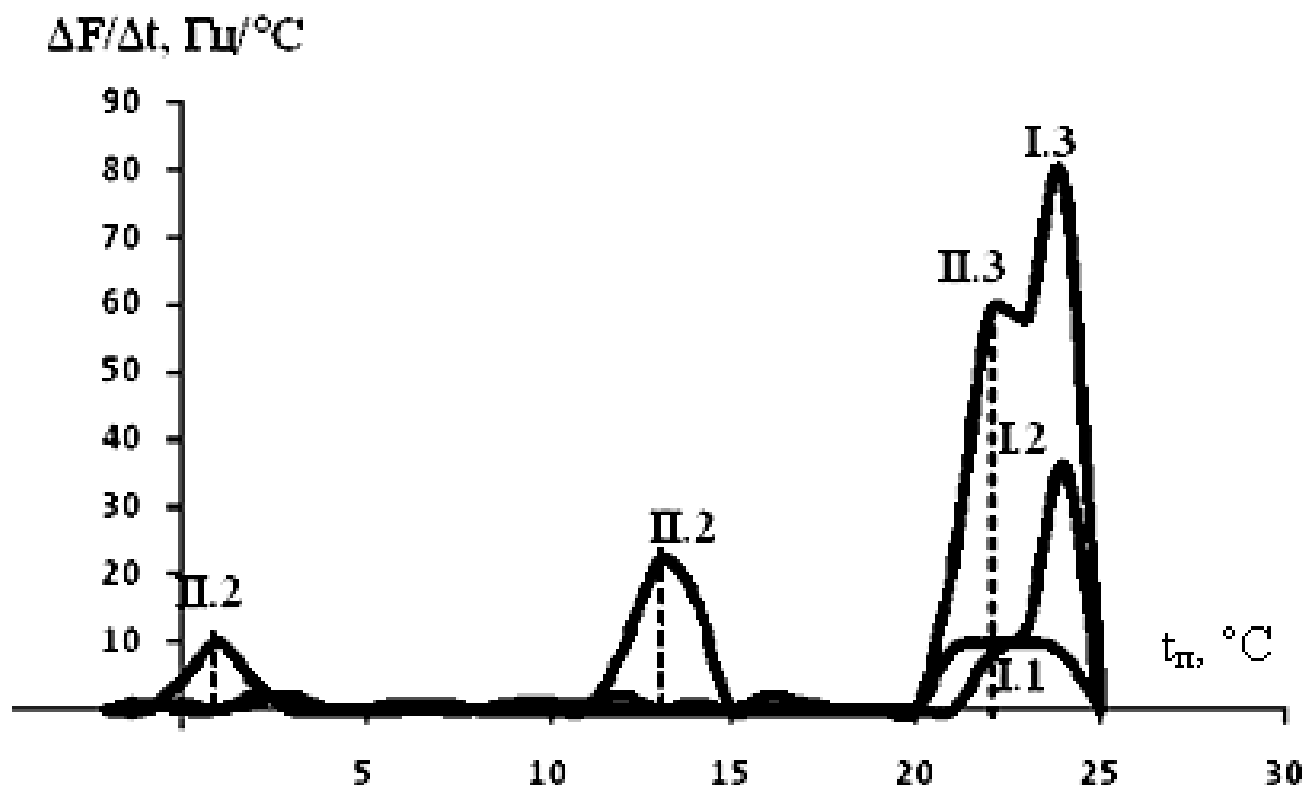


Рисунок 3 - Дифференциальные кривые сорбции (пик I) и конденсации (пик II) паров воды с концентрациями: 1 – 4,6; 2 – 11,5; 3 – 20,7 г/м³

Для полученных зависимостей характерны 2 пика: I) сорбция паров воды (до 5 с); II) капиллярная конденсация. Капиллярная конденсация начинает проявляться при определенном значении давления пара, характерном для данной системы. К моменту снижения температуры до точки росы T_p (°C) поверхностная энергия адсорбента практически полностью скомпенсирована в результате полимолекулярной адсорбции, а микропоры заполнены молекулами воды. При дальнейшем уменьшении температуры конденсация происходит не только в порах ПВП с минимальными размерами, но и в более крупных. Таким образом, конденсация увеличивает поглощение (сорбцию) паров пористыми телами, что и объясняет появление второго пика на кинетических кривых сорбции. Величина и время выхода пиков зависят от концентрации паров воды. Температуру точки росы определяли по максимумам пиков (II) на полученных дифференциальных кривых сорбции; соответствующую ей относительную влажность воздуха – по справочным данным [13]. Скорость охлаждения ячейки детектирования варьируется в зависимости от измеряемого диапазона относительной влажности воздуха: с увеличением концентрации паров воды время сорбции возрастает, поэтому для получения второго пика ее необходимо уменьшать.

Правильность определения проверяли методом «введено-найдено» (табл. 2).

Таблица 2 - Оценка правильности определения относительной влажности воздуха

Введено $RH, \%$	Найдено		$S_r, \%$
	$T_p, ^\circ\text{C}$	$RH, \%$	
20	$1,5 \pm 0,5$	$21,0 \pm 0,8$	1,8
50	$13,5 \pm 0,5$	$51,7 \pm 2,4$	3,3
90	$23,5 \pm 0,5$	$90,0 \pm 2,0$	4,0

Предлагаемый способ измерения точки росы с применением пьезокварцевых резонаторов точен ($S_r \leq 4,0$), позволяет определять относительную влажность воздуха по точке росы во всем диапазоне относительной влажности воздуха от 0 до 100 %; характеризуется простотой аппаратного оформления и обработки результатов анализа; экономичностью; быстротой (время анализа не превышает 2 мин).

Список литературы:

1. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с. – ISBN 5-283-01507-6.
2. Кучменко Т.А. Применение метода пьезокварцевого микровзвешивания в аналитической химии. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2001. – 280 с.
3. Кучменко Т. А. Аппаратный комплекс пьезокварцевого микровзвешивания. Новое в мире "Электронных насосов". – Воронеж: ВГТА, ООО "Сенсорные технологии", 2009. – 155 с. – ISBN 978-5-89448-601-7.
4. Трофимова Г.И. Курс общей физики. – М.: Высшая школа, 1998. – 416 с. – ISBN 5-06-003634-0.
5. Справочник химика. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные реакции в растворах / Под ред. Н. И. Никельсона. – М.: Химия, 1966. – Т. 3. – С. 124-144.
6. Кучменко Т.А., Кочетова Ж.Ю., Силина Ю.Е. и др. Определение микроконцентраций сероводорода в потоке газа с применением пьезодетектора // Журнал аналитической химии. 2007. Т. 62. № 8. С. 866-874.
7. Кучменко Т.А. Метод пьезокварцевого микровзвешивания в газовом органическом анализе: Дис. ... д-ра хим. наук. Саратов, 2003. – 475 с.
8. Кочетова Ж.Ю. Определение легколетучих органических соединений в газовой фазе с применением пьезосорбционных сенсоров на основе синтетических и природных полимеров. Автореф. дис. ... к-та хим. наук. Саратов, 2003. – 18 с.
9. Беспаятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник. – Л.: Химия, 1985. – 528 с.
10. Кучменко Т.А., Кочетова Ж.Ю., Коренман Я.И. Новые возможности анализа многокомпонентных газовых смесей с применением матрицы пьезосенсоров // Каталог рефератов и статей Международного Форума «Аналитика и Аналитики». 2003. Т. 1. С. 253.
11. Хидекели А. Какой нюх // Поиск. 1999. № 47. С. 4.
12. Мосин О.В. Молекулярная физика в трех ее агрегатных состояниях [Электронный ресурс] // Портал o8ode.ru [сайт]. URL: http://www.o8ode.ru/article/water/molekularnaa_fizika_vody.htm.

13. Метеорологические измерения на аэродромах. – СПб.: Гидрометеиздат, 2008. – 427 с.

УДК 543.07:54

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОСЕНСОРОВ

к.х.н. Кочетова Ж.Ю.¹, д.х.н., проф. Кучменко Т.А.²,
д.ф.-м.н. проф. Базарский О.В.¹
¹ВАИУ (г. Воронеж), ²ВГУИТ

Специалисты многих стран работают над созданием приборов, позволяющих своевременно обнаруживать взрывчатые устройства. В числе приборов, позволяющих выявлять скрытые взрывчатые устройства, видное место занимает аппаратура непосредственного обнаружения взрывчатых веществ (ВВ) по детектированию их паров и частиц, присутствующих в тех или иных количествах вблизи или на поверхности террористической «бомбы». Количества взрывчатых веществ, которые необходимо обнаружить в воздухе с помощью газоаналитического детектора, ничтожно малы. В таблице 1 приводятся приблизительные данные о давлении их насыщенных паров при нормальном атмосферном давлении и комнатной температуре [1].

Таблица 1 – Данные об испаряемости некоторых взрывчатых веществ

Тип ВВ	Число молекул ВВ на триллион молекул воздуха (ppt)	Число молекул ВВ в 1 см ³ воздуха	Количество нг ВВ в 1 см ³ воздуха
Нитроглицерин (NG)	10 ⁶	10 ¹³	1
Тротил (тринитротолуол, TNT)	10 ⁴	10 ¹¹	10 ⁻²
Тетранитропента-эритрит (ТЭН)	10 ⁰ – 10 ¹	10 ⁸ – 10 ⁹	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴
Гексоген (RDX)	10 ⁰	10 ⁸	10 ⁻⁵
Боевое ВВ С-4 (91% RDX + 9% пластического связующего)	10 ⁻¹	10 ⁷	10 ⁻⁶
Этиленгликоль-динитрат (EGDN)	10 ⁸	10 ¹⁵	100

Для специалиста, проводящего поиск и обезвреживание взрывоопасных предметов, в большинстве случаев важна только одна информация – есть взрывчатое вещество или нет. Высокоточный анализ ВВ может быть осуществлен в лабораторных условиях с помощью, например, приборов газовой хроматографии.

Поэтому необходима разработка чувствительных, надежных, экономичных, мобильных простых в эксплуатации тест-устройств для быстрого обнаружения взрывчатых веществ.

Цель исследований: разработка высокочувствительного и селективного газоанализатора для обнаружения азотсодержащих взрывчатых веществ. В ходе исследований стремились достичь наиболее оптимальных характеристик, предъявляемых к анализаторам: избирательность и высокая чувствительность к азотсодержащим веществам; надежная работа при относительной влажности от 30 до 85 % и температурах ($-10 \div 30$) °С; низкая чувствительность к изменениям концентраций естественных атмосферных газов; малые габариты; быстроедействие (время срабатывания не более 5 с).

По техническим характеристикам в качестве чувствительного элемента анализатора ВВ выбран пьезоэлектрический кварцевый резонатор (ПКР) АТ-среза. Конструирование наносенсора на основе ПКР осуществляется путем нанесения на поверхность его электродов твердых, жидких или вязкоупругих тонких пленок. Аналитическим сигналом сенсора является сдвиг резонансной частоты (f_p , Гц) в результате присоединения дополнительной массы (m , нг) к чувствительному пленочному покрытию электродов ПКР.

Чувствительность сенсоров в значительной степени зависит от собственных характеристик ПКР. Уменьшение диаметра электродов и повышение собственной частоты колебаний ПКР приводит к повышению чувствительности сенсора, но при этом уменьшается вероятность сорбции молекул газа на пленочном покрытии, и повышается дрейф нулевого сигнала, что делает определение малых концентраций (≤ 1 нг) невозможным. Для определения нанокolicеств ВВ в воздухе выбран ПКР с оптимальными характеристиками – диаметром электродов 2 мм и собственной резонансной частотой 15 МГц, при этом минимальное регистрируемое приращение массы составляет 1 нг [2, 3]. Основным фактором, влияющим на сорбционные характеристики сенсоров, являются свойства чувствительного пленочного покрытия электродов. Поэтому главная задача, решаемая при конструировании сенсоров, состоит в создании пленочного покрытия электродов, обеспечивающего высокую чувствительность, селективность к определяемым веществам, легкость регенерации, механическую устойчивость и химическую инертность.

На первом этапе работы осуществляли систематический поиск высокочувствительных и селективных покрытий электродов пьезокварцевых резонаторов к парам азотсодержащих взрывчатых веществ (нитроглицерину, тринитротолуолу, аммиачной селитре). В качестве вещества-тестора для оценки чувствительности пленочных покрытий электродов ПКР к азотсодержащим веществам применяли аммиак. Тестирование чувствительных покрытий осуществляли в статических условиях в герметично закрытой ячейке детектирования. Заданную концентрацию веществ-тесторов получали методом последовательного разбавления газовых фаз (концентрация исходных растворов составляла 100 нг/см^3). Относительная влажность воздуха 55 ± 2 %.

При выборе модификаторов электродов ПКР для детектирования азотсодержащих веществ оценивали величину аналитического сигнала при сорбции

и десорбции паров веществ и воды (Δf_c и Δf_d , Гц); селективность к азотсодержащим веществам относительно паров воды (A , %); относительную потерю массы пленки сорбента после 10 циклов сорбция-десорбция (m^{10} , %).

Для получения устойчивого и селективного сенсора применяли послойное формирование пленочного покрытия электродов ПКР. Сначала ПКР погружали в перемешиваемый с постоянной скоростью раствор полистирола (ПС) в толуоле с концентрацией 1 мг/см³. После статического испарения свободного растворителя на образующуюся тонкую полистирольную пленку-подложку аналогичным способом наносили активные компоненты – металлы комплексообразователи (ацетоновые растворы нитратов кобальта, циркония и хлорида железа). Оптимальные массы пленочных покрытий (m , мкг) для детектирования наноконцентраций паров аналитов установлены ранее [4] и составляют 15 – 20 мкг. Для получения желаемой массы пленочных покрытий погружение ПКР в коллоидные растворы солей повторяли 5 - 6 раз. Сформированные таким образом пленочные покрытия электродов характеризуются хорошей воспроизводимостью геометрии поверхности и сорбционных свойств при повторном нанесении.

Установлено, что с увеличением $K_{уст}$ комплексного соединения, образующегося в результате экспонирования сенсора в парах аммиака, сорбционная активность и селективность модификатора возрастают и наибольшие у сенсора на основе ПС с нитратом циркония (ПС+Zr⁴⁺). При варьировании массового содержания Zr⁴⁺ в пленке характеристики сорбции изменяются: с увеличением массовой доли металла-комплексообразователя от 10 до 90 % сорбционная активность сенсора возрастает в 2,2 - 2,7 раза, селективность изменяется незначительно, но значительно ухудшается устойчивость пленочного покрытия. Для повышения устойчивости и селективности сенсоров проводили дополнительную модификацию пленок-активаторов, цель которой включение в состав сорбента высоко устойчивых и инертных к парам воды фенолятов. Устойчивость пленок после дополнительной модификации увеличивается на 1 – 2 порядка. Селективность и чувствительность выбранной пленки повышали путем увеличения содержания циркония в смешанном сорбенте (таблица 2), при этом масса пленочного покрытия электродов ПКР оставалась постоянной ($m=18,7$ мкг).

Таблица 2 – Характеристики сорбции NH₃ с концентрацией 50 нг/см³ на пленках Zr⁴⁺ с полистирольной подложкой и дополнительной модификацией фенолом

Содержание Zr ⁴⁺ , % масс.	Масса фенола $m_{ф}$, мкг	NH ₃	NH ₃	H ₂ O	A , %	m^{10} , %
		Δf_c , Гц	Δf_d , Гц	Δf_c , Гц		
		*40		*60		
10	0,2	200	120	58	29	0,004
25	0,8	330	290	26	8	0,004
50	0,5	310	300	22	7	0,008
90	1,2	400	370	30	7	0,003

*относительная влажность воздуха, %

Избыток ПС в растворе сорбента (> 50 % масс.) обуславливает низкую селективность сенсора вследствие малого количества образующегося при дополнительной модификации фенолята циркония на поверхности пленки. При $\omega(\text{Zr}^{4+}) \geq 50$ % масс. в смеси с ПС и, соответственно, массы дополнительного модификатора $\geq 0,5$ мкг возрастает селективность сенсора (мешающее действие паров воды при влажности воздуха 60 % отн. не превышает 7 %), улучшается устойчивость пленки (230 – 300 циклов сорбция – десорбция без значительной потери массы и изменения сорбционной активности). Регенерацию наносенсора осуществляют продувкой ячейки детектирования газоанализатора инертным газом в течение 1 -2 мин. При $\omega(\text{Zr}^{4+}) = 90$ % мас. чувствительность сенсора максимальна и составляет $8 \text{ Гц} \cdot \text{см}^3 / \text{нг}$.

В статических условиях оценивали сорбционную активность пленки по отношению к различным классам органических соединений и некоторым неорганическим газам: спирты, кетоны, ароматические соединения и неорганические оксиды (кроме оксидов азота) не мешают определению аммиака.

Минимальное содержание азотсодержащих ВВ, которое можно определить в воздухе с применением разработанного наносенсора, для нитроглицерина, тринитротолуола и аммиачной селитры составляет соответственно 2 ± 1 , 20 ± 2 , $2 \pm 1 \text{ нг/см}^3$.

Газоанализатор взрывчатых веществ на основе наносенсора, сформированного послойной модификацией электродов пьезокварцевого резонатора полистирольной подложкой и нитратом циркония с дополнительной модификацией пленки фенолом, характеризуется высокой чувствительностью и селективностью к азотсодержащим соединениям; мобильностью и невысокой стоимостью. Основные преимущества способа тест-анализа взрывчатых веществ заключаются в полном отсутствии пробоподготовки и быстроте получения аналитической информации (2-4 мин, включая время настройки), а также нетребовательности к квалификации работника.

Список литературы:

1. Вандышев Б.А. Обнаружение взрывчатых веществ путем анализа их паров и частиц // Специальная техника. 1998. № 2. С. 209.
2. Эггинс Б. Мир электроники. Химические и биологические сенсоры. – М.: Техносфера, 2005.– 336 с. – ISBN 5-94836-045-8.
3. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с. – ISBN 5-283-01507-6.
4. Кучменко Т.А., Кочетова Ж.Ю., Силина Ю.Е. и др. Определение микроконцентраций сероводорода в потоке газа с применением пьезодетектора // Журнал аналитической химии. 2007. Т. 62. № 8. С. 866-874.

Библиографическая ссылка

Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Кучменко Т.А. Определение точки росы методом пьезокварцевого микровзвешивания // Междисциплинарные исследования в науке и образовании. – 2012. – № 1 Sp;
URL: www.es.rae.ru/mino/157-687 (дата обращения: 03.05.2012).

Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Кучменко Т.А. Газоанализатор взрывчатых веществ на основе пьезосенсоров // Междисциплинарные исследования в науке и образовании. – 2012. – № 1 Sp;
URL: www.es.rae.ru/mino/157-688 (дата обращения: 03.05.2012).

Информационные партнеры



<http://lomonosov-msu.ru/>



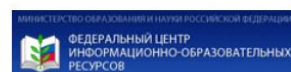
<http://www.msu.ru/>



<http://www.osvita.org.ua>



<http://agora.guru.ru/>



Спасибо, всем кто принял активное участие в информировании!

Об электронном научно-техническом журнале "Междисциплинарные исследования в науке и образовании"

Электронный научно-технический журнал "МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ", публикующий статьи по проблемам междисциплинарным исследованиям в различных предметных областях, заявления о новых теоретических и практических результата диссертационных исследований, которые позволят формировать у научных и научно-педагогических работников междисциплинарной научно-педагогической компетентности.

Электронный научный журнал "МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ" создан на издательской платформе RAE Editorial System Российской Академии Естествознания (РАЕ), которая первой после развала СССР приступила к формированию единого научно-информационного пространства без границ.

Журнал зарегистрирован на Универсальной издательской платформе Российской Академии Естествознания RAE Editorial System .

Адрес электронной почты: redaktor_mino@mail.ru

Сайт журнала в Интернете: <http://www.es.rae.ru/mino/>

Редакция журнала приглашает к сотрудничеству учёных и разработчиков новых направлений, студентов, бакалавров, магистров, аспирантов, докторантов и всех, кому небезразлично формирование научной точки зрения междисциплинарной научно-педагогической компетентности ученых.

Заинтересованным представленной в журнале информацией, следует обращаться к главному редактору журнала Козубцову Игорю Николаевичу (kozubtsov@mail.ru). По этому же адресу обращаются желающие задать вопросы авторскому коллективу и принять участие в обсуждении публикуемых материалов.

Доступ к журналу бесплатный.

При цитировании ссылка на журнал <http://www.es.rae.ru/mino> обязательна. Перепечатка материалов журнала только по официальному согласованию с редакцией.

Условное обозначение!

sm – семинар;

k – конференция;

sp – симпозиум;

kg – конгресс;

г - рекламное издание.

Учредитель

Междисциплинарная Академия Наук (МАН), Научно-исследовательская лаборатория
"Междисциплинарных исследований"

Главный редактор

Козубцов Игорь Николаевич, кандидат технических наук, профессор Российской Академии
Естествознания, заслуженный работник науки и образования Российской Академии
Естествознания

Заместители главного редактора

Масесов Николай Александрович, кандидат технических наук.

Члены редакционной коллегии

Беззубко Лариса Владимировна, доктор наук по государственному управлению, профессор,
Донбасская Национальная академия строительства и архитектуры;

Стеценко Ирина Александровна, доктор педагогических наук, доцент, Декан факультета
информатики и управления ФГБОУ ВПО «ТГПИ имени А.П. Чехова»;

Москальова Людмила Юріївна, доктор педагогічних наук, доцент, Завідувач кафедри соціальної
педагогіки та дошкільної освіти Мелітопольського державного педагогічного університету ім.
Богдана Хмельницького;

Гиенко Любовь Николаевна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент, кафедры социальной
педагогике и педагогических технологий, ФГБОУ ВПО «Алтайская государственная
педагогическая академия» институт психологии и педагогики;

Кочетова Жанна Юрьевна, кандидат химических наук, старший преподаватель, Военный
авиационный инженерный университет (Российская Федерация г. Воронеж);

Чупров Леонид Федорович, Кандидат психологических наук, профессор РАЕ, главный редактор
Электронного научного журнала «Вестник по педагогике и психологии Южной Сибири», Россия,
Хакасия, город Черногорск;

Васильев Константин Александрович, к.т.н., старший преподаватель кафедры №33 ВИТИ НТУУ
«КПИ», Украина, г. Полтава;

Кайдаш Иван Никифорович, к.т.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник НИО №13 НЦЗИ ВИТИ
НТУУ «КПИ», Украина, г. Киев;

Куцаев Виктор Владимирович, старший научный сотрудник НИЛ №43 НЦЗИ ВИТИ НТУУ
«КПИ», Украина, г. Киев.

Научное издание

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**Первого Международного научно-практического симпозиума
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

**Секция:
Химические науки**

Подписано к печати 10.05.2012.

Формат 21х29.7.

Электронное издание.

Гарнитура Times New Roman.

Тираж 2 экз. Заказ 1.