

2. Баранчиков А.И., Громов А.Ю. Алгоритм синтеза реляционной базы данных, учитывающий атрибуты различной степени секретности // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3 (37). – С. 25-37.
3. Мейер Д. Теория реляционных баз данных. – М.: Мир, 1987. – 608 с.
4. К. Дж. Дейт Введение в системы баз данных = Introduction to Database Systems. – 8-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – С. 1328. – ISBN 0-321-19784-4.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.А. Башков.

**Громов Алексей Юрьевич**

**Баранчиков Алексей Иванович**

Рязанский государственный радиотехнический университет.

E-mail: alexib@inbox.ru.

391000, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Тел.: 84912460303.

**Gromov Aleksey Urievich**

**Baranchikov Aleksey Ivanovich**

Ryazan State Radio Engineering University.

E-mail: alexib@inbox.ru.

59/1, Gagarina Street, Ryazan', 391000, Russia.

Phone: +74912460303.

УДК 543.421:621.38:556.388:681.2

**А.В. Вовна, А.А. Зори, В.Д. Корнев, М.Г. Хламов, Н.И. Чичикало**

**ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРИМЕНЕНИЯ**

*Приведены результаты научных работ по направлениям повышения эффективности газоаналитических, гидрофизических, экологических и промышленного применения информационно-измерительных систем. Предложены и обоснованы критерии эффективности, проведена оценка использования различных методов и средств, с целью повышения точности, быстродействия и метрологической надежности измерителей путем математического моделирования и экспериментальных исследований. На основе данных разработок опубликованы десятки научных статей. Результаты работы доложены на международных конференциях, получено и внедрено 15 авторских свидетельств на изобретения, защищены докторская и кандидатские диссертации, издано несколько монографий.*

*Измерительная система; эффективность; точность; неопределенность; быстродействие; надежность; критерий; параметр.*

**A.V. Vovna, A.A. Zori, V.D. Korenev, M.G. Khlamov, N.I. Chichikalo**

**THE IMPROVEMENT EFFICIENCY OF INFORMATION-MEASURING  
SYSTEMS OF SCIENTIFIC RESEARCH AND INDUSTRIAL APPLICATIONS**

*Given the results of scientific work on improving of information and measurement systems's efficiency of gas analysis, hydro, environmental and industrial applications. Proposed and grounded the criteria of efficiency, evaluated using various methods and tools to improve accuracy, performance and reliability of the metrology meters by means of mathematical modeling and experimental studies. On the basis of the given developments tens scientific articles are published.*

*Effects of operation are reported at international conferences, 15 copyright certificates on inventions are gained and inserted, are protected doctoral and master's theses, some monographies are published.*

*Measurement system; the efficiency; accuracy; uncertainty; performance; reliability; criterion setting.*

Создание технически-эффективных и экономически-обоснованных и информационно-измерительных систем (ИИС) и приборов контроля для автоматизации технологических процессов представляет собой одну из актуальных задач, выдвигаемых перед наукой и техникой в связи с развитием промышленного потенциала Украины. Повышение требований к быстродействию и точности измерений величин, математизация процессов обработки результатов измерений, повышения надежности, унификация модульного исполнения при соблюдении международных норм – определяет направление развития современных ИИС и приборов. При этом критерием создания конкретной ИИС или прибора в конечном итоге является их целевое назначение и эффективность, которая включает в себя как повышение надежности, так и улучшение качественных показателей ИИС и технологического оборудования.

Одно из научных направлений кафедры базируется на исследовании особенностей взаимодействия измерительных структур, приборов и систем с объектом исследования. Особое внимание уделено общности принципов и методов измерения величин, характеризующих параметры разнородных по видам и назначению объектов: технологических, биологических, промышленных и пр. Объект рассматривается как предмет, состояние которого может быть представлено допустимыми границами изменения физических величин (температуры, давления, концентрации, скорости), параметров перемещения, положения, массы, сил и их производных.

На уровне опытных образцов на кафедре разработаны и изготовлены ИИС, приборы и автоматизированное оборудование, которые нашли применение:

- ◆ в пищевой промышленности для создания измерителей влажности на технологических линиях, автоматизированных рецептурных станций приготовления высокооднородных пралиновых смесей для производства начинок шоколадных конфет, вафель и тортов, что дает возможность повысить качество изделий в соответствии с требованиями нормативных документов;
- ◆ в химической промышленности для оптимизации процессов получения углекислых солей, что повышает экономическую эффективность получения карбонатов;
- ◆ в шахтах для контроля напряженно-деформированного состояния пород кровли с целью исключения вывалов в призабойное пространство, а также для контроля потенциальной энергии угольного массива, обусловленной содержанием в нем газа метана – с целью выработки решений по управлению скоростью подачи угольного комбайна для исключения внезапных выбросов угля и газа в забой;
- ◆ на фабриках, заводах, комбинатах, шахтах для измерения массы сырья, материалов, полуфабрикатов и т.п. в емкостях объемом до 90 м<sup>3</sup>.

Новые методы исследований, которые основаны на автоматизированном проектировании, адаптированы к изменению технологических условий функционирования и технических характеристик объектов. На кафедре ведутся исследования возможностей повышения функциональных, метрологических и экономических характеристик ИИС и приборов на базе современной элементной базы. Рассмотрены механизмы оценки рабочего состояния объектов с их адаптацией под контролируемые параметры. Существенный эффект дает использованию новых методов предпроектных исследований на базе вычислительно-инженерного комплекса labVIEW для виртуального проектирования, и опыт экспериментальных и промышленных исследований, без которых затруднено получение опытных образцов ИИС и приборов.

Другим направлением научно-исследовательской деятельности кафедры является повышение эффективности и разработка газоаналитических ИИС контроля концентрации метана в условиях угольных шахт. Для решения вопросов безопасности условий труда на предприятиях горно-металлургического комплекса Украины, а именно для предупреждения взрывоопасных ситуаций, необходимо обеспечить данные предприятия быстродействующими и надежными средствами контроля концентрации взрывоопасных газовых составляющих в рабочей зоне. Так, быстродействие измерителей концентрации метана для угольных шахт, согласно нормативных документов, не должна превышать  $\Delta t = 0,8$  с при значении абсолютной погрешности измерения не более  $0,2^{об.}\%$  в диапазоне от 0 до  $4,0^{об.}\%$ . Существующие средства измерения не обеспечивают получения информации в реальном масштабе времени о процессах изменения концентрации метана с необходимыми статическими и динамическими погрешностями.

В качестве критерия для сравнения существующих измерителей концентрации взрывоопасных газов предложено использовать информационную пропускную способность  $\Pi$ , которая позволяет учесть быстродействие ( $\Delta t$ ) при необходимой разрешающей способности ( $\Delta C=0,2^{об.}\%$ ,  $C_{max}=4^{об.}\%$ ) измерителей:

$$\Pi = \frac{J}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \cdot \log_2 \left( \frac{C_{max}}{2 \cdot \Delta C} \right),$$

где  $J$  – количество информации, получаемое при одном измерении с абсолютной погрешностью  $\pm \Delta C$ .

На основе выбранного критерия проведена оценка информационной пропускной способности различных методов и средств контроля концентрации взрывоопасных газов и установлено, что для существующих измерителей  $\Pi = 0,2$  [двоичных единиц/с], и они не обеспечивают необходимую пропускную способность согласно требований ГОСТ ( $\Pi = 4$  дв. ед./с). Для улучшения показателя пропускной способности путем повышения быстродействия, как одного из доминирующих параметров, было предложено использовать инфракрасный оптико-абсорбционный метод измерения концентрации газов, а для обеспечения необходимых метрологических характеристик измерителя – разработаны специальные методы и средства, которые обеспечивают повышение метрологической надежности и точности [1–3]. При этом оценка полученного показателя пропускной информационной способности разработанного измерителя составляет  $\Pi = 33$  дв. ед./с., что превышает данный показатель для существующих измерителей и полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ [4].

В основу разработанных специальных методов и средств повышения точности и метрологической надежности положена следующая идея: использовать дифференциальную оптическую схему, в которой информация о концентрации метана содержится в выходном сигнале одного из каналов, а о концентрации пыли в обоих каналах. Для компенсации влияния угольной пыли на результаты измерения концентрации метана предложено использовать оптоэлектронный блок в составе измерителя, который состоит из двух пространственных открытых оптических каналов: основного измерительного и компенсационного. Выполнены исследования по реализации и применению ряда предложенных способов с целью использования разработанного двухканального оптоэлектронного блока в измерителях концентрации метана [1–3].

На основе предложенных методов, средств и математических моделей разработан и создан макетный образец быстродействующего измерителя концентрации метана, который позволил оценить его эффективность. Разработана программа и методика испытаний для метрологической аттестации макетного образца. В результате проведенных исследований достигнут технический эффект, который со-

стоит в существенном повышении быстродействия ( $\Delta t$  не более 0,1 с) при необходимых метрологических характеристиках измерителя концентрации метана (абсолютная погрешность измерения концентрации метана составляет  $\Delta C$  не более  $\pm 0,2$  <sup>об.%</sup>), что позволяет на порядок снизить динамическую погрешность измерения концентрации метана в угольных шахтах. Испытания макетного образца были проведены в промышленных условиях Государственного предприятия «Петровский завод угольного машиностроения». Выполняется договор на проведение опытно-конструкторских работ с частной компанией «Дейта Экспресс».

По материалам данной работы опубликовано 25 научных статей, из них 10 в специализированных научных изданиях Украины и Российской Федерации, включенных в утвержденный ВАК перечень. Результаты работы доложены на 12 международных конференциях. Подано 14 заявок на получение патентов, из них получено 10 патентов Украины (5 на изобретение). Защищена кандидатская диссертация. Планируется в 2011 г. издание монографии «Методы и средства аналитического измерения концентрации газовых компонент в рудничной атмосфере угольных шахт».

Следующим направлением научной деятельности кафедры является разработка и создание информационно-измерительных комплексов для гидрофизических и экологических исследований.

Внедрение в практику экспедиционных гидрофизических исследований автоматизированных систем глубинного зондирования толщи вод позволило перейти на новый качественный уровень современной науки об океане. Использование микропроцессорных ИИС для регистрации и обработки полученных результатов измерений существенно сократило временные затраты на проведение экспериментов и первичную обработку данных наблюдений. При этом получение гидрологических разрезов на полигонных исследованиях с обработкой данных измерений позволило выполнять измерения в реальном масштабе времени. Использование пакетов специализированных программ распределения параметров и их градиентов по разрезам, а также их пространственное распределение на полигонах позволило рассчитывать поля течений, определять критерии устойчивости вод, плотностного соотношения, параметры тонкой термохалинной структуры. Необходимость измерения не только средних значений параметров водных сред, но и их пульсаций, градиентов, резко активизировали разработки различных зондирующих систем. Данные системы позволяют увеличить количество регистрируемых в процессе измерений параметров, которые выполняются с повышенной точностью и быстродействием, что обеспечивается высоким уровнем автоматизации и обработки измерений.

Другой достаточно важной и актуальной проблемой является проведение экологических исследований водных сред. Большинство измеряемых параметров при гидрофизических и экологических исследованиях водных сред являются одинаковыми. При этом условия проведения экспериментов путем вертикального или горизонтального зондирования, с буйковых или неподвижных станций, буксируемых или движущихся объектов идентичны. Предложены методы и средства контроля характеристик водных сред для решения проблем экологического мониторинга, обобщен опыт разработки первичных измерительных преобразователей, измерительных каналов и автоматизированных ИИС в целом. В процессе разработки первичных измерительных преобразователей, измерительных каналов и электронных измерительных систем перед авторами и сотрудниками кафедры неоднократно возникали вопросы повышения точности результатов измерений и точности разрабатываемых средств измерений. Большое внимание ими также уделено методологическим аспектам повышения эффективности ИИС, изложению основ методов снижения инструментальной погрешности измерительных каналов и системы в целом.

Для оценки эффективности ИИС предложен ряд критериев, которые характеризуют ее с разных точек зрения. В качестве обобщенного показателя эффективности, который интегрально характеризует систему как совокупность ее технических, экономических, информационных и других параметров, предложено использовать комплексный показатель функционирования сложной системы.

В качестве основных параметров морской среды при гидрофизических исследованиях используется температура ( $T$ ), удельная электрическая проводимость ( $\chi$ ), гидростатическое давление ( $P$ ) и скорость ( $V$ ). Для измерения этих параметров в составе ИИС предусмотрены соответствующие измерительные каналы. Инструментальные погрешности каналов обуславливают апостериорную энтропию, которая характеризует остаточную неопределенность значений параметров среды после выполнения измерений и соответственно количество информации о состоянии исследуемой среды, которое получает системы за время зондирования толщи воды.

С учетом затрат на изготовление и эксплуатации гидрофизических ИИС, которые являются доминирующими, предложено для оценки эффективности исследуемой системы по сравнению с образцовой (базовой) следующий комплексный критерий [6]:

$$W = \frac{\sum_i a_i \cdot W_{0i}}{K_0 + C_0},$$

где  $W_{0i}$  – частный  $i$ -й безразмерный показатель технической эффективности ИИС, который является отношением показателей точности образцовой ИИС к исследуемой, для параметров: температуры, удельной электрической проводимости, гидростатического давления и скорости;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го безразмерного показателя;  $K_0$  – отношение затрат на изготовление образцовой к затратам на изготовление исследуемой системы;  $C_0$  – отношение текущих затрат на эксплуатацию образцовой к затратам на эксплуатацию исследуемой системы.

При использовании предложенного критерия для определения показателей  $W_{0i}$ , в качестве погрешностей измерений «образцовой» системы предложено использовать соответствующие «теоретические» погрешности измерений первичных гидрофизических параметров среды ( $\pm 0,005$  °C по температуре,  $\pm 0,01$  См/м по электропроводности,  $\pm 0,1$  % по гидростатическому давлению,  $\pm 0,005$  м/с по скорости). Данные показатели обеспечивают требуемые для океанологии и экологии точности расчетов вторичных параметров исследуемой среды (плотность, соленость, глубина, скорость распространения звука и др.). При этом критерий определяет «потенциальную» эффективность разработанной ИИС, т.е. эффективность относительно «идеальной системы», которая имеет такие же затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию.

Для повышения эффективности гидрофизических и экологических ИИС необходимо повышать точность измерений первичных параметров, снизить время зондирования за счет увеличения ее скорости, повысить быстродействие за счет увеличения частоты опроса первичных преобразователей, повысить надежность, уровень автоматизации измерений и обработки информации, снизить затраты на изготовление и эксплуатацию, а также энергопотребление. Доминирующими факторами при этом будут являться точность, быстродействие и стоимость ИИС.

Научно-исследовательские и конструкторские работы в этом направлении выполнены совместно с СКТБ Донецкого физико-технического института НАН Украины, Государственным оптическим институтом им. С.И. Вавилова г. Санкт-Петербург (Российская федерация), Донецким национальным университетом (СКТБ «Турбулентность», Украина) по созданию зондирующих систем «Метеор», «Дельфин», «Кондор» и «Аргос». Автоматизированный комплекс «Дельфин» экспонировался на

Лещинской ярмарке и был удостоен Золотой медали, а также награжден Дипломом экспортно-импортной фирмы «Хайм электрик». В 1989–1992 гг. комплекс был представлен на международных коммерческих выставках Югославии, Румынии на ВДНХ СССР и УССР, разработчики были награждены Большой Памятной, 2 Серебряными и 2 Бронзовыми медалями выставок.

На основе данных разработок опубликовано 70 научных статей. Результаты работы доложены на 30 международных конференциях, получено и внедрено 15 авторских свидетельств на изобретения, защищены 1 докторская и 10 кандидатских диссертации, издано 5 монографий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 91795 С2. Україна, МПК G 01 N 21/35. Спосіб вимірювання концентрації метану в рудниковій атмосфері / О.В. Вовна, А.А. Зорі, В.Д. Коренев, М.Г. Хламов; Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (Україна). – № а200906379; заявл. 19.06.2009; опубл. Бюл. № 8 від 25.08.2010.
2. Пат. 92572 С2. Україна, МПК G 01 N 21/35. Спосіб вимірювання концентрації газів / О.В. Вовна, А.А. Зорі, В.Д. Коренев, О.Г. Ликов; Г.В. Мокрий; М.Г. Хламов; Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (Україна). – № а200912500; заявл. 03.12.2009; опубл. Бюл. № 21 від 10.11.2010.
3. Пат. 92704 С2. Україна, МПК G 01 N 21/35. Спосіб вимірювання концентрації метану в газоповітряній суміші / О.В. Вовна, А.А. Зорі, В.Д. Коренев, О.Г. Ликов; М.Г. Хламов; Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет» (Україна). – № а201001736; заявл. 18.02.2010; опубл. Бюл. № 22 від 25.11.2010.
4. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ГОСТ 24032 – 80. – [Действующий от 1981-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 36 с.
5. *Boyko V. Increase of measuring systems accuracy / V. Boyko, A. Zori, V. Korenev, S. Kovalev, M. Khlamov. – Donetsk: RVV DonNTU, 2007. – 276 p.*
6. *Zori A.A. Визначення ефективності складних систем. Критерії ефективності гідрофізичних інформаційно-вимірювальних систем / А.А. Зорі, В.Д. Коренев, Д.М. Кузнецов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Донецьк, 2008. – Випуск 14 (129). – С. 171-176.*

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.А. Петраков.

**Зори Анатолий Анатольевич**

**Коренев Валентин Дмитриевич**

**Хламов Михаил Георгиевич**

**Чичикало Нина Ивановна**

**Вовна Александр Владимирович**

Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет».

E-mail: Vovna\_Alex@ukr.net.

83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, Украина.

Тел.: +380623045571; +380623010918.

**Zori Anatolii Anatolievich**

**Korenev Valentin Dmitrievich**

**Khlamov Michael Georgievich**

**Chichikalo Nina Ivanovna**

**Vovna Aleksander Vladimirovich**

State Higher Education Establishment “Donetsk National Technical University”.

E-mail: Vovna\_Alex@ukr.net.

58, Artyom Street, Donetsk, 83001, Ukraine.

Phone: +380623045571; +380623010918.