

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**3 (301)**

**МАМЫР – МАУСЫМ 2015 ж.**

**МАЙ – ИЮНЬ 2015 г.**

**MAY – JUNE 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

## PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 301 (2015), 191 – 198

**THE ISSUE OF PROVIDING TEMPORARY STABILITY  
OF FLUID SENSORS****K. A. Ozhikenov<sup>1</sup>, P. G. Mikhailov<sup>2</sup>, P. Rakhimzhanova<sup>3</sup>, Z. Abdikulov<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Kazakh National Technical University after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,<sup>2</sup>Penzensky State Technological University, Penza, Russia,<sup>3</sup>International Kazakh-Turkish University after named H. A. Yassavi, Turkestan, Kazakhstan**Keywords:** physical model, mathematical model, microelectronic sensor, sensor, measuring module.

**Abstract.** One of the main problems in instrumentation have always been questions of stability of sensors of physical quantities. Of particular relevance they have acquired in connection with the creation and development of complex autonomous measurement and control systems in various industries. This is due to factors such as the long period of operation of objects, the impossibility of their maintenance and repair, including the installation and dismantling of sensors, territorial remoteness, stealth, etc. Improved stability of the sensors of physical quantities is a complex problems, including: the creation of new design and technological solutions, the development of new technologies, methods and procedures for monitoring, testing, long-term analysis of failures and defects in the operation of sensors, etc. This priority is to create new designs and technologies, as the improvement of sensors using traditional methods of conversion, design and technology are mostly exhausted itself, and not justified in practice.

The article is devoted to the key issue of ensuring the stability of the sensors of physical quantities. Approaches to develop a set of physical and mathematical models, which will not only significantly reduce the duration of full-scale tests, but also to accelerate the entire development cycle of new and modernization of the previously developed sensors of physical quantities. It was created by a series of sensors and measurement modules microelectronic sensors and rapidly acoustic pressure.

УДК 681.586.72: 531.787

**ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ  
ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН****К. А. Ожикенов<sup>1</sup>, П. Г. Михайлов<sup>2</sup>, П. Рахимжанова<sup>3</sup>, З. Абдикулова<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,<sup>2</sup>Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия,<sup>3</sup>Международный казахско-турецкий университет им. Х. А. Яссави, Туркестан, Казахстан

**Ключевые слова:** физико-математическая модель, микроэлектронный датчик, чувствительный элемент, измерительный модуль.

**Аннотация.** Одним из основных проблем в приборостроении всегда были вопросы обеспечения стабильности датчиков физических величин. Особую актуальность они приобрели в связи с созданием и развитием сложных автономных измерительных и управляющих систем в разных отраслях экономики. Это связано с такими факторами, как длительный период функционирования объектов, невозможность их обслуживания и ремонта, в том числе монтажа-демонтажа датчиков, территориальная отдаленность, скрытность и т.д. Повышение стабильности датчиков физических величин является сложнейшей комплексной задачей, включающей в себя: создание новых конструктивно-технологических решений, разработку новых технологий, методов и процедур контроля, испытаний, долговременного анализа отказов и дефектов датчиков в процессе эксплуатации и т.д. При этом приоритетным направлением является создание новых конструкций и технологий, так как совершенствование датчиков, использующих традиционные методы преобразования, конструкции и технологии в большинстве своем исчерпало себя и не оправдало на практике.

Статья посвящена ключевой проблеме обеспечения стабильности датчиков физических величин. Рассмотрены подходы по разработке комплекса физико-математических моделей, который позволит не только существенно сократить длительность натурных испытаний, но и ускорить весь цикл разработки новых и модернизации ранее разработанных датчиков физических величин. Был создан ряд чувствительных элементов и измерительных модулей микроэлектронных датчиков акустических и быстропеременных давлений.

*Обзор проблемы обеспечения стабильности датчиков физических величин.* Вопросы обеспечения стабильности датчиков физических величин (ДФВ) всегда были одними из основных в измерительной технике и приборостроении. Особую актуальность они приобрели в связи с созданием и развитием сложных автономных измерительных и управляющих систем в космонавтике, энергетике, трубопроводном транспорте, охране важных объектов, экологии. Это связано с такими факторами, как длительный период функционирования объектов, невозможность их обслуживания и ремонта, в том числе монтажа-демонтажа датчиков, территориальная отдаленность, скрытность и т.д. Показательными объектами вышеуказанных отраслей являются: охранные системы стратегических объектов, орбитальные комплексы, межпланетные станции, плотины гидроэлектростанций, ядерные реакторы, контейнерные автономные метеостанции, а так как все современные информационно-измерительные системы, построенные с применением микропроцессоров, контроллеров и компьютеров, имеющие на низовом уровне (процесс, установка, изделие, агрегат) опять те же ДФВ–преобразователи контролируемых параметров процесса. И если их характеристики будут нестабильны во времени, то ни какими программно-аппаратными средствами невозможно обеспечить информативность измерений и регулируемость процесса. Все это приводит не только к финансовым потерям, но может послужить причиной экологических катастроф (неуправляемость ядерной реакцией, аварии на нефте- и газопроводах, прорыв плотин гидроэлектростанций и т.д.). Повышение стабильности ДФВ является сложнейшей комплексной задачей, включающей в себя: создание новых конструктивно-технологических решений, разработку новых технологий, методов и процедур контроля, испытаний, долговременного анализа отказов и дефектов датчиков в процессе эксплуатации и т.д. При этом приоритетным направлением является создание новых конструкций и технологий, так как совершенствование датчиков, использующих традиционные методы преобразования, конструкции и технологии в большинстве своем исчерпало себя и не оправдало на практике [1, 2].

С проблемой обеспечения стабильности разрабатываемой продукции так или иначе сталкиваются все разработчики и изготовители, но особенно она является актуальной в таких отраслях, как ракетно-космическая техника (РКТ), авиация, атомная энергетика. Это связано, в первую очередь, с необходимостью назначения значительного рабочего ресурса, переходом на новую элементную базу, увеличенными уровнями внешних воздействующих факторов (ВВФ) действующими на приборы, материалы и комплектующие и проч.

Например, при создании орбитальных космических комплексов и межпланетных космических аппаратов главные конструкторы изделий требуют у разработчиков средств измерения (СИ) для РКТ увеличения ресурса СИ на два-три порядка по сравнению с теми, которые были ранее характерны для изделий РКТ (десятки, сотни часов при очень высокой надежности). Соответственно ужесточаются и требования по временной стабильности нового поколения СИ. В частности, для СИ, разрабатывавшихся для ракетно-космического комплекса «Энергия-Буран» основные ВВФ и технические требования к датчикам были следующие [3]:

- температурный диапазон от 253 до +700 °С;
- термоудары со скоростью до 5000 град/с;
- вибрации до 1200 g с частотой от 5 до 5000 Гц;
- ударные нагрузки до 700 g длительностью от 0,5 до 5 мс;
- акустический шум до 170 дБ;
- пожаро- и взрывобезопасность в среде «водород-кислород»;
- помехоустойчивость и электромагнитная совместимость;
- широкие диапазоны измерения;
- многообразие применения (до 100 раз);
- надежность от 0,99 до 0,999 при обеспечении механической надежности до 0,99999.

Кроме того, для авиационной и ракетно-космической техники необходимы ДФВ малых габаритов и веса, так как их общее количество на одном изделии, особенно при стендовой и летно-конструкторской отработке очень велико и может достигать несколько тысяч штук, что связано с колоссальным числом контролируемых параметров и точек контроля. Так, например, общее число точек контроля на автономном спускаемом аппарате типа «Буран» было более 50000 шт.

Еще одним характерным примером резкого повышения требований к долговременной стабильности СИ и особенно датчиков является использование последних в ядерной энергетике для контроля функционирования ядерных реакторов. Дело в том, что зачастую установка ДФВ осуществляется таким образом, что в дальнейшем демонтировать или заменить его практически невозможно, так как это связано с возможными нарушениями целостности конструктивных элементов ядерного реактора.

Использование ДФВ в автономных управляющих системах: инженерных боеприпасах, системах охраны стратегических объектов, системах аварийной защиты ракет, стоящих на боевом дежурстве и прочее, также требует применения стабильных датчиков, в противном случае недостоверность выдаваемой информации может привести к значительным материальным и экономическим потерям, экологическим катастрофам, а также к гибели людей.

*Обеспечение стабильности ДФВ – междисциплинарная проблема.* Наряду с осознанием необходимости решения проблем, связанных с обеспечением стабильности разрабатываемой продукции, следует понимать, что данная проблема – многогранная, стыковая, так как завязана с различными областями знаний (материаловедение, физика твердого тела, вычислительная техника, системный анализ и проч.). Поэтому для решения вопросов стабилизации параметров ДФВ необходим комплексный, системный подход, включающий следующие аспекты [4-6]:

1. Научный (разработка теоретических вопросов, моделирование, исследование различных физических эффектов и проч.);
2. Технологический (разработка и внедрение новых технологических процессов и операций);
3. Материаловедческий (разработка и исследование новых материалов, в том числе и композитных);
4. Химический (подбор и исследование травителей, газов и т.д.);
5. Экологический (утилизация отходов, нейтрализация агрессивных газов и проч.)

Обеспечение стабильности датчиков физических величин является актуальной проблемой в большинстве отраслей науки и техники. Это объясняется, в первую очередь тем, что, несмотря на высокий уровень развития информационно-измерительных систем и интеллектуализацию процессов измерения и управления, первичным звеном, определяющим большинство технических характеристик систем (точность, быстродействие, надежность и проч.) является датчик. Следует подчеркнуть, что без разработки и освоения производства стабильных ДФВ применение даже новых интеллектуальных информационно-измерительных систем, построенных на основе микропроцессоров и современного программного обеспечения, не может обеспечить необходимого качества измерения, так как искаженную нестабильным ДФВ информацию невозможно скорректировать.

Традиционно высоконадежные ДФВ разрабатывались и изготавливались для нужд оборонных отраслей (авиация, космонавтика, военно-морской флот) на предприятиях военно-промышленного комплекса. Особенностью таких ДФВ является то, что при высокой надежности, достигающей до 0,99 и выше, они имеют, в подавляющем большинстве, малый ресурс работы (единицы, десятки часов), что объясняется жесткими условиями их эксплуатации (криогенные и повышенные температуры, ионизирующие излучения, высокие вибронгрузки, агрессивные среды и т.д.). Такой ресурс ДФВ обеспечивают при решении специальных задач: вывод спутника на орбиту, обеспечение старта ракеты, управление полетом самолета и пр., длительность выполнения которых, как правило, невелика.

В условиях сокращения вооружений и осуществлении конверсионных программ на большинстве предприятий оборонного комплекса разработчикам и производителям ДФВ пришлось срочно переориентироваться на гражданские отрасли, в первую очередь, на энергетику, химическую и нефтеперерабатывающую промышленность, газо- и нефтедобычу. При этом необходимо было коренным образом менять подход, заложенный при разработке изделий для оборонных нужд -

«малый ресурс при высокой надежности», на новый – «большой ресурс при приемлемой надежности». Для новых изделий, поставляемых для гражданских отраслей, требовалось повысить ресурс на несколько порядков. В частности, для датчиков давления, монтируемых на магистральных нефтепроводах, необходимо было повысить ресурс со 100 часов (у существующих датчиков) до 50 000 – 100 000 часов (для вновь создаваемых). Конечно, при таких ресурсах от ДФВ не требуется выдерживать повышенные ВВФ, но для обеспечения такого длительного ресурса необходимо было менять многое в конструкции, технологии, методах испытаний, расчетах. К примеру, даже ускоренные испытания ДФВ дают только десятикратный выигрыш по времени, поэтому экономически нецелесообразно проводить длительные ресурсные испытания. Кроме того, результаты ускоренных испытаний не могут гарантировать адекватного поведения ДФВ в реальных условиях эксплуатации.

Следует отметить, что аналитический обзор состояния стабильности ДФВ, выпускаемых в России и за рубежом проведенный автором по различным источникам, показал следующее:

1. В подавляющем большинстве производители не указывают временной стабильности параметров и только отдельные изготовители и разработчики, хотя и указывают, но только качественно, а не количественно.

2. Используемая терминология, характеризующая стабильность ДФВ, не соответствует ГОСТ и международным стандартам. В частности, используются следующие характеристики:

- долговременная стабильность метрологических характеристик (МХ);
- высокая точность и стабильность МХ в условиях эксплуатации;
- стабильность МХ в течение ресурса;
- стабильность МХ при эксплуатации в широком диапазоне частот, температур, воздействии давлений, вибрации, радиационных излучений;
- обладает долговременной стабильностью параметров.

3. Недостаточность и просто отсутствие информации от изготовителей о стабильности выпускаемых ими ДФВ объясняется, по всей видимости, несколькими основными причинами:

- трудностью корректного подтверждения временной стабильности технических характеристик ДФВ, что связано с большими временными и экономическими затратами;
- недостаточной развитостью математического аппарата создания долговременных прогнозных моделей.

При назначении параметров стабильности возникает необходимость создания математических и физических моделей, способных предоставить потребителю достаточную информацию по состоянию характеристик устройства либо через заданный интервал времени, либо в указанном временном диапазоне. Сложность создания таких моделей состоит в том, что количество учитываемых параметров в них слишком велико, при этом необходимо также учитывать режим работы устройства в тот или иной момент времени в течение всего срока эксплуатации датчиков. Поэтому при создании физико-математических моделей (ФММ) имеет место завышение многих ВВФ, таких как повышенная или пониженная температура, термоудары, периодические возрастания и понижения влажности, влияние агрессивных сред и т.п. Это приводит к тому, что в конечном итоге ДФВ проектируется по критическим значениям ВВФ (критические модели), но на практике условия эксплуатации являются критичными лишь относительно небольшое время по сравнению с общим эксплуатационным ресурсом. Хотя такого рода критические модели и способны облегчить усилия, затраченные на разработку и конструирование, но они не способны точно предсказать состояние системы или ДФВ в какой-либо заданный момент времени. Если же точно описать условия эксплуатации устройства, что, вообще говоря, практически невозможно из-за случайного характера внешних воздействий, то модель будет неустойчивой.

Разработка комплекса ФММ позволит не только существенно сократить длительность натуральных испытаний, но и ускорить весь цикл разработки новых и модернизации ранее разработанных ДФВ. При этом следует учитывать, что при создании таких моделей требуются значительные информационные ресурсы, поэтому синтез ФММ возможен только при использовании современной вычислительной техники и нового программного обеспечения. Но затраты на эти цели с научной и экономической точек зрения вполне оправданы, так как позволяют создать для различных отраслей народного хозяйства целую гамму ДФВ с повышенной стабильностью. Таким образом,

проблема обеспечения стабильности ДФВ является нетривиальной задачей и требует решения целого комплекса проблем из различных отраслей науки и техники: материаловедения, информатики, механики, схемотехники, микроэлектроники, физики твердого тела и пр.

Как показала практика, отдельные меры, направленные на улучшение частных характеристик ДФВ, не приводя в целом к улучшению стабильности, чаще всего ухудшают другие характеристики (вес, ремонтпригодность, надежность и проч.). Поэтому при решении проблем обеспечения стабильности ДФВ необходимо использовать комплексный подход, включающий рассмотрение всего ДФВ как системы, разные уровни которой, начиная с низового (атом, домен, кристалл, зерно) и заканчивая верхним (нормирующий преобразователь), охвачены обратными связями - постоянными и временными (рисунок 1). При этом обратные связи могут быть как постоянные (в виде обратных преобразователей), так и временные, появляющиеся в процессе изготовления структур датчика и при проведении целенаправленных процессов стабилизации (термотренировка, искусственное старение и проч.).

Это предложение подтверждается также концепцией качества, изложенной в ИСО 9000 согласно которой необходимо предусматривать мероприятия по обеспечению и поддержанию качества в процессе всего жизненного цикла изделия, начиная от технического задания на разработку и заканчивая его утилизацией. Поэтому стратегия обеспечения временной и параметрической стабильности ДФВ может быть представлена в виде блок-схемы описывающей основные этапы жизненного цикла ДФВ, причем в ней, также как и в ДФВ, присутствуют обратные связи, предназначенные для поддержания необходимого уровня стабильности системы (рисунок 1).

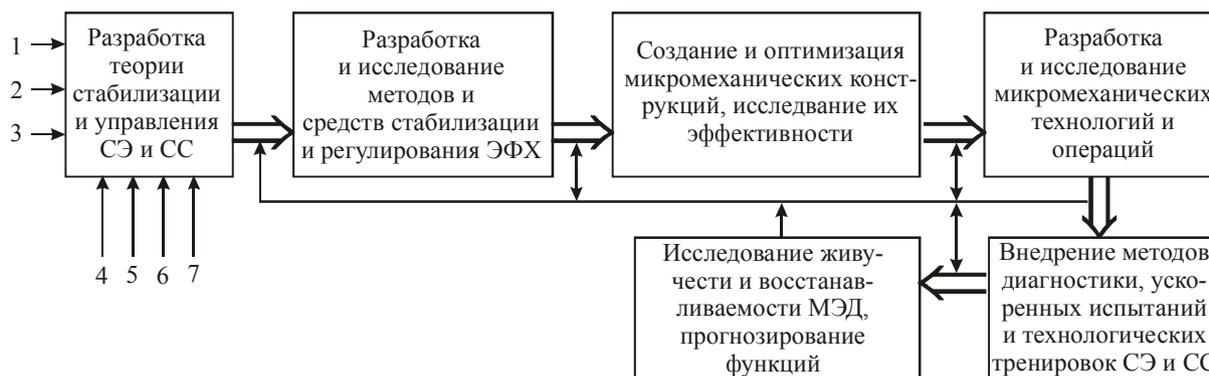


Рисунок 1 – Стратегия обеспечения стабильности микроэлектронных датчиков

Как видно из данной блок-схемы, задачу обеспечения стабильности условно можно разбить на следующие взаимосвязанные блоки:

- I. Разработка вопросов теории стабилизации и управления ДФВ;
- II. Разработка и исследование методов и средств стабилизации и регулирования ЭФХ;
- III. Создание и оптимизация микромеханических конструкций, исследование их эффективности;
- IV. Разработка и исследование микромеханических технологий и операций;
- V. Внедрение методов диагностики, ускоренных испытаний и технологических тренировок;
- VI. Исследование параметрической устойчивости, живучести, восстанавливаемости Д, прогнозирование функционирования;

В качестве основополагающих составляющих начального, теоретического блока, отнесены следующие вопросы [7-9]:

1. Анализ и оценка влияния ВВФ на устойчивость и стабильность ДФВ;
2. Стабилизация, авторегулирование элементами ДФВ;
3. Управляемость ЭФХ чувствительных элементов ДФВ;
4. Разработка математических моделей;
5. Прогнозирование дрейфа параметров ДФВ;
6. Выработка критериев стабильности;
7. Синтез обратных связей.

Следует отметить, что каждый из перечисленных вопросов является сам по себе проблемным, поэтому даже решение какой-либо части из них, может послужить существенным вкладом в деле создания датчиков с повышенной временной стабильностью.

На основе разработанных положений и методов был создан ряд чувствительных элементов и измерительных модулей микрoeлектронных датчиков акустических и быстропеременных давлений (рисунок 2–5) [1-3, 6, 9-11].

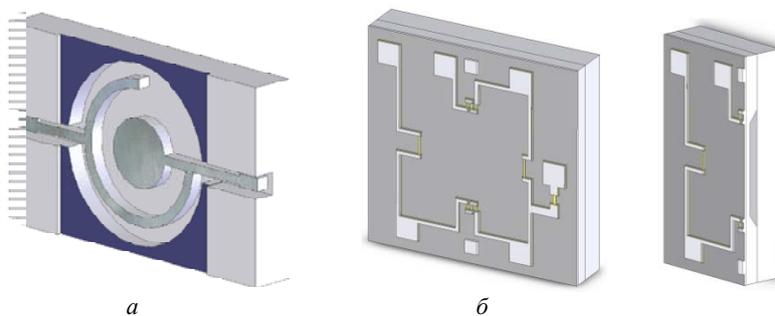


Рисунок 2 – 3D-модели ИМ МЭД давления: *а* – емкостный, *б* – пьезорезистивный

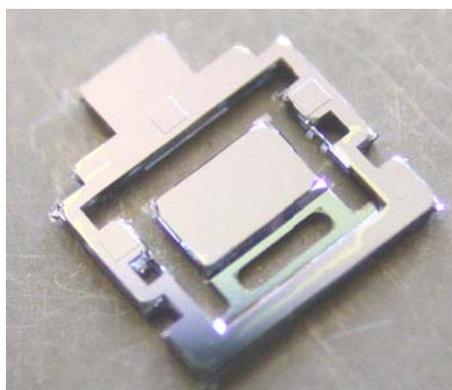


Рисунок 3 – Фотография кремниевого ЧЭ микромеханического акселерометра

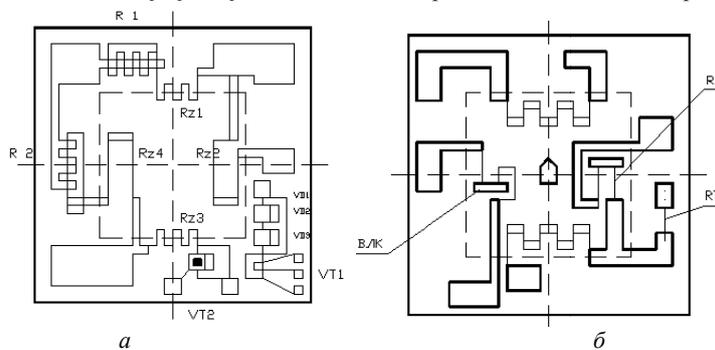


Рисунок 4 – 2D-модели ЧЭ МЭД давления: *а* – с элементами настройки и термокомпенсации; *б* – с ионнолегированным терморезистором и высоколегированными перемычками

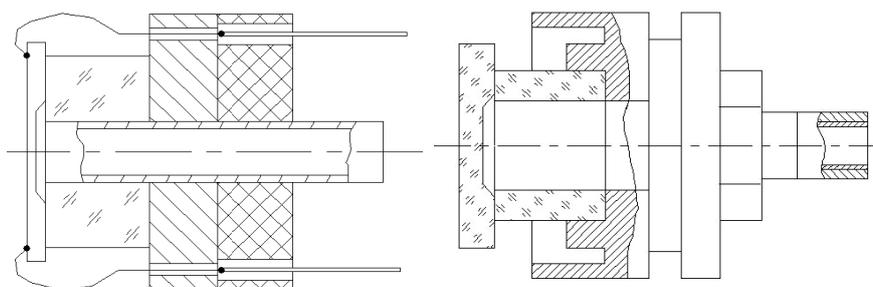


Рисунок 5 – Измерительные модули датчиков относительного давления

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михайлов П.Г. Микроэлектронные датчики, особенности конструкций и характеристик, Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, 2004, № 6, С.38-42.
- [2] Михайлов П.Г. Микроэлектронный датчик давления и температуры, Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, 2003, № 11, С. 29-31.
- [3] Михайлов П.Г. Микроэлектронный датчик давления, Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, № 11, 2003.
- [4] Михайлов П.Г. Экспериментальное исследование совмещенного датчика давления и температуры, Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, № 12, 2003.
- [5] Михайлов П.Г. Синтез информационно-энергетических моделей датчиков, Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, 2003, № 3, С. 37-40.
- [6] Михайлов П.Г. Мокров Е.А., Байдаров С.Ю. Изготовление неразъемных узлов микроэлектронных датчиков, Контроль. Диагностика, №6, 2011.
- [7] Михайлов П.Г., Цибизов П.Н., Тютюников Д.А. Разработка моделей качества датчиков физических величин на основе квалиметрического подхода, Известия Южного федерального университета, Технические науки, 2011, №5(130). С. 99–104.
- [8] Михайлов П.Г., Соколов А.В. Моделирование чувствительных элементов датчиков механических напряжений в строительных конструкциях, Региональная архитектура и строительство, 2012, №3. С.110–117.
- [9] Михайлов П.Г., Мокров Е.А. Скотников В.В. Чувствительные элементы высокотемпературных датчиков давления. Материалы и технологии изготовления, Известия Южного федерального университета, Технические науки, 2014, №4, С. 204–213.
- [10] Ожикенов К.А., Михайлов П.Г., Касимов А.О., Скотников В.В. Использование обратных преобразователей в микроэлектронных датчиках, Вестник НАН РК, №6, 2014, С. 41-46.
- [11] Ожикенов К.А., Михайлов П.Г., Касимов А.О. Петрин В.А., Маринина Л.А. Общие вопросы моделирования компонентов и структур микроэлектронных датчиков, Вестник НАН РК, №6, 2014, С. 62-71.

## REFERENCES

- [1] Mikhailov P.G. *Microelectronic sensors, design features and characteristics, Devices and Systems, Management, control, diagnostics* 2004, №6, pp.38-42. (in Russ.).
- [2] Mikhailov P.G. *Microelectronic pressure and temperature sensor, Devices and Systems. Management, control, diagnostics.* – 2003, №11, pp. 29-31. (in Russ.).
- [3] Mikhailov P.G. *Microelectronic pressure sensor devices and systems, Management, control, diagnostics, №11, 2003.*
- [4] Mikhailov P.G. *Experimental study of combined pressure and temperature sensor, Devices and Systems, Management, control, diagnostics. №12, 2003. (in Russ.).*
- [5] Mikhailov P.G. *Synthesis of information and energy models sensors, Instruments and Systems. Management, control, diagnostics, 2003, №3, pp. 37-40. (in Russ.).*
- [6] Mikhailov P.G., Mokrov E.A., Baydar S.Y. *Production of one-piece assemblies of microelectronic sensors, control, diagnosis, №6, 2011. (in Russ.).*
- [7] Mikhailov P.G., Tsibizov P.N., Tyutyunik D.A. *Development of models as sensors of physical quantities on the basis kvalimetricheeskogo approach, Proceedings of the Southern Federal University, Technical sciences, 2011, №5, (130), pp. 99-104. (in Russ.).*
- [8] Mikhailov P.G., Sokolov A.V. *Simulation of the sensor element stresses in structures, Regional architecture and engineering in 2012, №3, pp. 110-117. (in Russ.).*
- [9] Mikhailov P.G., Mokrov E.A., Skotnikov V.V. *Sensitive elements of high-pressure sensors. Materials and manufacturing techniques, Southern Federal University, Technical sciences, 2014, №4, pp. 204-213. (in Russ.).*
- [10] Ozhikenov K.A., Mikhailov P.G., Kasimov A.O., Skotnikov V.V. *The use of inverters in microelectronic sensors, Bulletin of National Academy of Sciences of Kazakhstan, 2014, №6, pp. 41-46. (in Russ.).*
- [11] Ozhikenov K.A., Mikhailov P.G., Kasimov A.O., Petrin V.A., Marinina L.A. *Common questions of modeling components and structures microelectronic sensors, Bulletin of National Academy of Sciences of Kazakhstan, 2014, №6, p. 62-71. (in Russ.).*

**ФИЗИКАЛЫҚ ШАМА ДАТЧИКТЕРІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН  
ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ МӘСЕЛЕСІ**

**К. А. Ожикенов<sup>1</sup>, П. Г. Михайлов<sup>2</sup>, П. Рахимжанова<sup>3</sup>, З. Абдикулова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Пенза мемлекеттік технологиялық университеті, Пенза, Ресей,

<sup>3</sup>Х. А. Ясауи ат. халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан

**Тірек сөздер:** физикалық-математикалық модель, микроэлектрондық датчик, сезімтал элемент, өлшеуіш модуль.

**Аннотация.** Аспап жасаудағы қазіргі замандағы өзекті мәселелердің бірі – физикалық шама датчиктерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету. Әсіресе ол экономиканың әртүрлі саласындағы автономды өлшеу және басқарушы жүйелердің жасалуы мен дамуына байланысты өзектілігі арта түсті.

Мақала физикалық шама датчиктерінің тұрақтылығын қамтамасыз етудің негізгі мәселелеріне арналған. Мұнда тек қана физикалық шама датчиктерін сынау ғана емес, сонымен қатар жаңа датчиктердің жасалуын және бұрынырақта жасалынған датчиктердің жаңғыртылуын тездетудің жолдары қарастырылады. Акустикалық және тез ауыспалы қысым микроэлектрондық датчиктерінің өлшеу модульдерінің және сезгіш элементтері жасалды.

*Поступила 25.02.2015 г.*

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

[physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

Редактор *М. С. Ахметова*

Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 9.06.2015.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

15,7 п.л. Тираж 300. Заказ 3.