

СЕКЦІЯ 4

**ТЕОРІЯ І ПРОЕКТУВАННЯ НАНОПРИЛАДІВ І СИСТЕМ
ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН І НАНОПЕРЕМІЩЕНЬ**

УДК 534.232.4

**МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ
ИСТОЧНИКОВ НАПРЯЖЕНИЯ**

*Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Петлеваний П.В., Марченко С.В.,
Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы, Украина*

Развитие и широкое внедрение автономных малогабаритных энергонезависимых источников питания в различных отраслях энергетики, промышленности, сельского и коммунального хозяйства составляет в настоящее время важную и актуальную задачу.

Среди множества типов автономных источников питания хорошие перспективы имеют пьезокерамические источники напряжения. Их разработкой занимаются многие ученые различных стран. К примеру, в Российской Федерации, только одному из ведущих предприятий в этой области ОАО "Элпа" (г. Москва, Зеленоград) на исследование темы «Поиск путей создания автономных малогабаритных энергонезависимых пьезоэлектрических источников питания» на 2007 год выделено 3 млн. рублей.

Работа пьезокерамического источника напряжения (ПИН) основана на прямом пьезоэффекте. Простота изделия, твердость, высокая чувствительность пьезоэлемента и прочие достоинства делают незаменимыми данные источники во многих приложениях. Например, одно нажатие до упора и отпускание рычага ПИН в ночном малогабаритном визире "Зенит НВ-пьезо" обеспечивает работу прибора не менее 1 мин. К основным же недостаткам ПИН относят малую мощность, которую они могут генерировать.

Традиционная работа ПИН построена на накоплении энергии при однократном сильном механическом воздействии (нажатии) на пьезоэлемент (по принципу пьезозажигалки). В работе предложено преобразовать это воздействие в многократные периодические удары по пьезоэлементу. Результатом второго вида воздействий являются периодически затухающие (с частотой затухания, соответствующей резонансной частоте пьезоэлемента) электрические сигналы, поступающие на емкостной накопитель.

Для повышения энергии ПИН в работе рассмотрены возможности применения биморфных и триморфных пьезоэлементов, а также их пакетов. Рассмотрены особенности использования доменно-диссипативных пьезопреобразователей. Рассмотрены вопросы выбора типов элементов и схем емкостных накопителей, позволяющих максимально передать энергию, вырабатываемую пьезоэлементом, в нагрузку.

Одной из важных проблем использования в ПИН пьезокерамических элементов является хрупкость керамики, что не позволяет работать с сильными ударами. В этом случае перспективным является использование пленочных эластичных пьезоматериалов.

Ключевые слова: пьезокерамический элемент, источник напряжения.

УДК 681.586

БИМОФНЫЙ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ СКАНЕР ДЛЯ ЗОНДОВЫХ НАНОМИКРОСКОПОВ В ОБЛАСТИ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

¹⁾Шарапов В.М., ²⁾Гуржий А.Н., ³⁾Тымчик Т.Г., ¹⁾Филимонов С.А., ¹⁾Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы, Украина; ²⁾Министерство образования и науки Украины, г. Киев, Украина; ³⁾Национальный технический университет Украины «Київський політехнічний інститут», г. Киев, Украина

Нанотехнология – это принципиально новая технология, способная решать проблемы в таких разных областях, как связь, биотехнология, микроэлектроника и энергетика и др.

Для развития субмикронной технологии и нанотехнологии требуется создание прецизионных контрольно-измерительных инструментов, одним из которых являются сканирующие зондовые микроскопы.

Основным элементом сканирующих зондовых микроскопов, который собственно, и обеспечивает возможность работы прибора в режимах атомных разрежений и который существенно влияет на качество получаемого изображения, является пьезокерамический сканер.

В сканирующих зондовых микроскопах широкое распространение получили сканеры на основе трубчатых пьезоэлементов. Недостатком таких сканеров является то обстоятельство, что при сканировании секции трубчатого пьезоэлемента, не участвующие в перемещении, препятствуют изгибу пьезокерамического сканера, что уменьшает диапазон сканирования.

Широкое распространение получили сканеры на основе биморфных пьезоэлементов (БПЭ). Авторами разработан, исследован и готовится к производству трехкоординатный пьезокерамический сканер на основе БПЭ.

Сканер выполнен из пяти биморфных пьезоэлементов, каждый из которых состоит из металлической платины, на которую закреплен пьезоэлемент. Четыре биморфных пьезоэлемента одной стороной металлической пластины консолю закреплены на основании таким образом, что поперечное сечение фигуры, образованной четырьмя биморфными пьезоэлементами, представляет собой квадрат или прямоугольник. Держатель объекта или зонда выполнен также в виде биморфного пьезоэлемента и закреплен на четырех биморфных пьезоэлементах с помощью упругих пластинок прямоугольной формы.

Как показали эксперименты, предложенный сканер существенно расширяет диапазон сканирования ($\sim \pm 60$ мкм по сравнению с ± 20 мкм трубчатой конструкции).

Были исследованы амплитудно-частотные характеристики и определены взаимные связи между биморфными пьезоэлементами сканера.

Ключевые слова: нанотехнологии, сканирующий зондовый микроскоп, пьезокерамический сканер.

УДК 53.089

ВПЛИВ НАХИЛУ ОСІ ЗОНДОВОГО МІКРОСКОПА НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ

Задорожній Р.О., Чередніков І.О., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Зондовий мікроскоп дозволяє досліджувати поверхню з роздільною здатністю менше 0,1 нанометрів. Такі відстані є незвичайно малими навіть для сучасної техніки і їх досягнення пов'язано з певними труднощами при розробці і експлуатації цих мікроскопів. Причина ускладнень полягає в необхідності зменшити до прийнятної величини амплітуди збурень, які діють на зондовий мікроскоп з боку зовнішнього середовища. Традиційні рішення є дуже громіздкими, технологічно складними і, як наслідок, дорогими.

Крім традиційних механізмів дії збурень, пов'язаних з коливаннями конструкції мікроскопа, існує також нетрадиційний механізм. Його дія обумовлена змінами деформації конструкції мікроскопа при нахилі осі.

Високі вимоги, що пред'являються до точності руху голки, вимушують розробників застосовувати спеціальні технічні рішення, які забезпечують зменшення впливу зовнішніх збурюючих чинників механічної природи.

Залежність переміщення голки від нахилу осі зондового мікроскопа виникає через деформацію ланцюжка конструктивних елементів, які сполучають площадку для розміщення досліджуваних зразків з голкою. Напрямок і величина цих відхилень залежить від конструкції мікроскопа. Вони можуть бути обчислені при використуванні відомих формул опору матеріалів і теорії пружності. Дослідження показали, що прогинання конструкції повинне враховуватися при розрахунку переміщень голки, викликаних динамічними обуреннями в горизонтальній площині, які прикладені до осі. Дія сили тяжіння позначається при розгойдуванні осі мікроскопа, яке виникає унаслідок стиснення і розтягування пружин підвісу при коливаннях осі в горизонтальній площині, які викликаються збуреннями.

Причинами виникнення нахилів корпусу мікроскопа можуть стати м'якість опори і статична невизначеність. Статична невизначеність має місце, якщо мікроскоп спирається на лабораторний стіл чотирма опорами. Часто лабораторний стіл використовується як звичайний учбовий стіл, виготовлений з ДСП.

В цьому випадку не виключено прогинання кришки столу. Аналогічна ситуація має місце якщо з метою зниження залежності приладу від коливань основи його встановлюють на м'який килимок.

Тому для підвищення точності вимірювань проведених з допомогою зондового мікроскопа доцільно збільшувати жорсткість конструкції, що сполучає площадку для досліджуваних зразків і голку, та забезпечити стабілізацію його осі.

Ключові слова: зондовий мікроскоп, точність вимірювань.

УДК 531

РОБОТОТЕХНІЧНИЙ ЗІР ПРИ ВИМІРЮВАННІ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

¹⁾ Борковська Л.О., ¹⁾ Борковський О.В., ²⁾ Налісний М.Б., ¹⁾ Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна; ²⁾ УМГ “ЧЕРКАСИТРАНСГАЗ”, м. Черкаси, Україна

Однією із важливих задач функціонування вимірювальних роботів є здатність детектування перешкоди, а також оцінювати можливі напрямки переміщення без зіткнень з ними. Значний прогрес був досягнутий у промисловості, де існуюче середовище можна контролювати, а завдання, що стоїть перед системою машинного зору, чітко позначено. Типовим прикладом може служити спеціалізований робототехнічний комплекс для відбракування деталей, які в подальшому можуть бути використані для комплектування авіаційних двигунів.

Подальший розвиток засобів автоматизації виробництва вимагає широкого використання роботів та робототехнічних систем. Сфера використання систем технічного зору включає три основних аспекти: візуальний контроль; управління та регулювання; вимірювання та визначення положення.

Проблема одночасного забезпечення двох суперечливих вимог високої точності і достатньої швидкості проведення вимірювань, вирішується різними шляхами. Одним із таких методів є програмне переміщення чутливого елемента в процесі вимірювань, що виправдане при контролі однотипних виробів. Координатні приводи у цьому випадку працюють в декількох режимах: в режимі траєкторного руху – при програмному переміщенні наперед заданій траєкторії між вимірюваннями, в режимі позиціонування безпосередньо перед початком вимірювань, в режимі підведення чутливого елемента з малою швидкістю та в режимі стабілізації умов контакту із контрольованим об'єктом. З цієї причини до приводів координатно-вимірювальної машини пред'являються особливі вимоги щодо точності і швидкодії як до специфічних систем автоматичного регулювання.

Задачі вимірювання розв'язуються в робототехнічних системах для правильного підводу вимірювального наконечника, визначення відстані до об'єкту та геометричної форми і розташування поверхонь.

Показано, що основними вимогами до системи технічного зору є: швидкодія алгоритмів системи технічного зору, необхідність контролю з урахуванням переміщень деталі, універсальність алгоритмів обробки інформації, внесення змін в роботу алгоритму системи технічного зору яка повинна бути не чутливою до завад, зміни освітлення.

Ключові слова: робототехнічний зір, координатно-вимірювальні машини, обробка інформації.

УДК 531.7

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДВУХСТОРОННИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

*Квасников В.П., Шевченко Ю.Б., Национальный авиационный университет, м. Киев,
Украина*

Для оптимизации характеристик линейного двигателя, представляет интерес исследование влияния длины магнита вдоль оси его намагничивания на качественную и количественную оценку распределения параметров магнитного поля в зазоре магнитной системы линейного двигателя с двухсторонним возбуждением от постоянных магнитов.

Анализ результатов расчета, подтверждает физическую природу происходящих процессов, а именно то, что увеличение длины постоянного магнита (ПМ) приводит к увеличению м.д.с. системы возбуждения и к росту максимальной величины составляющей индукции $B_{y \max}$ в зазоре. При этом зависи-

мость изменения $B_{y \max} = f\left(\frac{l_{nm}}{\tau}\right)$ носит нелинейный характер.

Уменьшение длины ПМ приводит к уменьшению следующих величин: м.д.с. источников возбуждения магнитной системы (МС) индуктора, амплитудного значения нормальной составляющей магнитной индукции в зазоре, объема ПМ и механической прочности ПМ, поскольку форма магнита приобретает вид тонкой пленки (пластины), при этом возникает проблема его намагничивания. Форма распределения кривой $B_y = f(x)$ в области энергопреобразования в данном случае меняется от синусоидальной к трапециидальной.

Поскольку при проектировании специальных электромоторов с безжелезными якорями и магнитоэлектрическим возбуждением на форму кривой в воздушном зазоре налагается требование прямоугольного (трапециидального) изменения вдоль зазора, при достаточной величине амплитуды B_y , то можно рекомендовать следующие области изменения относительных размеров МС индуктора. Рекомендации относительно выбора длины ПМ вдоль оси намагничивания вытекают из полученных результатов. В соответствии с зависимостями величина l_{nm} должна находится на данной МС индуктора, т.е. на «колоне насы-

щення» кривой $B_{y \max} = f(l'_{nm})$, но при этом желательно, чтобы l'_{nm} было близкое по величине к $\frac{\delta'}{2}$. Последние условие соотношения геометрических размеров МС

δ' и $\frac{\delta'}{l'_{nm}}$ возникает из требования оптимального использования объема ПМ с точки зрения получения максимальной магнитной энергии ПМ в исследуемой МС и получения наибольшей удельной мощности ЭМ.

Ключевые слова: постоянный магнит, линейный двигатель.

УДК 681.325

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ СУМІЩЕНИХ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДИНАМІЧНОГО ТИСКУ

*Тихан М.О., Івахів О.В., Національний університет “Львівська політехніка”,
м. Львів, Україна*

Сучасні високотехнологічні галузі, а саме аерокосмічна промисловість, двигунобудування, теплоенергетика та інш. потребують більш швидкодіючих та точніших систем автоматичного контролю та керування. Відомо, що значною мірою таку швидкодію та точність забезпечують первинні вимірювальні перетворювачі, що перебувають у середовищі, параметри стану якого піддаються контролю.

Серед інших вимірюваних параметрів фізичних функціональних процесів у згаданих галузях, вимірювання тиску є вагомою часткою. При цьому, однією з головних особливостей вимірюваного тиску є його швидкоплинність (динамічність) у поєднанні з непередбачуваним перебігом. Довільність і непередбачуваність динамічності тиску виражається у тому, що в одному вимірювальному акті він може мати як різко змінний (ударний) характер з періодичною, або неперіодичною повторюваністю, так і “гладкий”-гармонічний, майже гармонічний і т.п. характер, а також мати статичні ділянки. І такі особливості можуть перемішуватися довільно при значних амплітудних значеннях. Тобто, вимірюваний тиск представляє собою сильно виражений нестационарний процес.

Оскільки вихідний сигнал з перетворювача є інформативним при виробленні керуючих сигналів для виконавчих механізмів швидкодіючих систем автоматичного керування, тому існує потреба вимірювань у реальному масштабі часу, або якомога близько до цього.

Як відомо, вимірювання динамічних величин відноситься до класу некоректно поставлених задач. Розв’язок цих задач здійснюють методом регуляризації (метод Тихонова), однак практичне його застосування при вимірюванні динамічного тиску в реальному масштабі часу не дає бажаних результатів. Така ситуація очевидно зумовлена фізичними особливостями як

самої величини, так і особливостями вимірювальних приладів, що застосовуються.

У доповіді поданий спосіб вимірювання динамічного тиску в реальному масштабі часу та суміщений тензометричний перетворювач для здійснення способу, а також основні теоретичні засади для цього типу сенсорів.

Ключові слова: тензометричні перетворювачі, метод регуляризації.

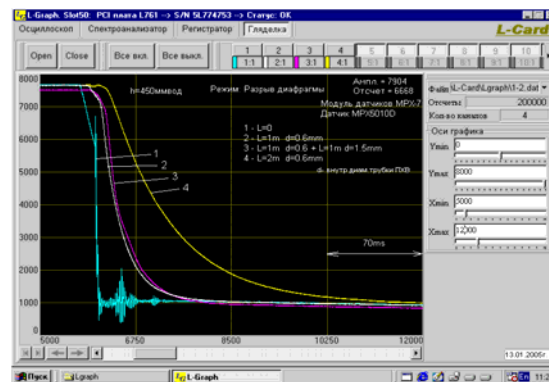
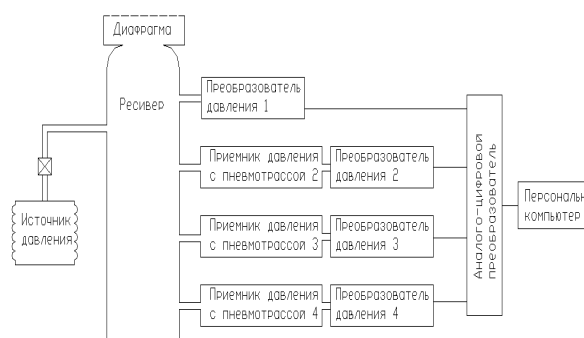
УДК 681.121

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМОТРАСС

Артамонов В.К., Артамонов П.В., Ключев А.В., Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова, г. Київ, Україна

Необходимость в экспериментальном определении инерционных характеристик пневмотрасс возникает весьма часто при решении различных практических задач. Допущения, упрощающие вывод теоретических зависимостей инерционных характеристик измерительной системы от ее геометрических параметров, а также неподдающиеся учету местные сопротивления в системах заставляют корректировать расчетные результаты экспериментальной проверкой.

Для экспериментальных исследований пневмоизмерительных систем применяются различные схемы. Одна из таких схем приведена ниже.



При экспериментальном определении инерционных характеристик пневмотрасс длина и диаметр пневмотрассы, а также диаметр приемных отверстий делаются сменными для определения влияния, которые они оказывают на инерционные характеристики. По полученным данным эксперимента, определяем время выравнивания давлений в исследуемых трассах.

На рис. приведена сравнительная характеристика исследуемых пневмотрасс разной длины и с разным внутренним диаметром. Эти характеристики позволяют определить время выравнивания давления газа в системе.

Зависимости, приведенные на графике позволяют оценивать влияние на инерционные характеристики измерительной системы тонких дренажных трубок, с помощью которых обычно прокладывается пневмотрасса по поверхности или внутри тел, обтекаемых потоком. Полученные данные позволяют выбрать диаметр приемника d_0 и длину трассы l для измерения давлений, изменяющихся в диапазоне от 0 до 800 мм.вод.ст., при которых время выравнивания минимально.

Ключевые слова: пневмоизмерительная система, пневмотрасса, инерционность, время выравнивания давления.

УДК 621.317.39

ГРАДУИРОВКА ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, ПОСТРОЕННОЙ ПО ПРИНЦИПУ ОТДЕЛЬНЫЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНУЮ ТОЧКУ

Артамонов В.К., Артамонов П.В., Ключев А.В., Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова, г. Київ, Україна

Количество первичных измерительных преобразователей (ПП) в системах, построенных по принципу отдельный датчик давления на одну измерительную точку, соответствует количеству измерительных точек и может быть очень велико. В целях повышения точности измерений ПП могут иметь разные диапазоны измеряемых величин, и каждый ПП может иметь индивидуальную градуировочную характеристику. Поэтому была разработана методика и специальное программное обеспечение, позволяющие провести градуировку большого количества датчиков за кратчайшее время.

Все датчики разбиваются на группы. В первую группу выделяются датчики, имеющие наибольший диапазон измеряемых давлений. Затем к первой группе присоединяются датчики с меньшим диапазоном измеряемых давлений, но выдерживающие повышенное давление в диапазоне функционирования уже выбранных датчиков. Из оставшихся датчиков снова выбираются датчики с наибольшим диапазоном измерения и объединяются во вторую группу и т.д.

Градуировка проводится отдельно для каждой группы датчиков. На все датчики группы давление подается одновременно от эталонного задатчика давления. Градуировка проводится в диапазоне давлений, соответствующих наибольшему из диапазонов измеряемых давлений для датчиков входящих в группу. Для каждого значения эталонного давления выполняется кратный отсчет. Кроме этого выполняется несколько циклов нагружения.

Программа градуировки автоматически определяет наиболее вероятный порядок аппроксимирующего полинома для каждого датчика в отдельности, рассчитывает коэффициенты, и оценивает точность. Алгоритм определения порядка аппроксимирующего полинома обладает специфической особенностью: он автоматически определяет рабочий диапазон датчика, рассматривая точки, ле-

жащие в зоне насыщения и зоне нечувствительности как содержащие грубую погрешность.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, первичный измерительный преобразователь, градуировка, аппроксимирующий полином.

УДК 531.781

ТЕХНОЛОГИЯ MEMS

*Гераимчук М.Д., Ключка Р.В., Лисовой К.В., Национальный технический университет
Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

Многие из существующих инноваций не используют в полной мере свой потенциал вплоть до появления на рынке принципиально новых разработок. Так, одной из ключевых технологий вплоть до 2012 г. аналитическая компания Gartner называет технологию микроэлектромеханических систем - MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems). Согласно последним прогнозам In-Stat/MDR, рынок MEMS растет на 13,2% каждый год. По мнению аналитиков из Gartner, микроэлектромеханические системы позволят с минимальными затратами повысить чувствительность и механическую отдачу устройств на уровне кристаллов.

Можно сказать, что MEMS - это множество микроустройств самой разнообразной конструкции и назначения, в производстве которых используются модифицированные технологические приемы микроэлектроники. Действительно, микроэлектромеханические системы получаются путем комбинирования механических элементов, датчиков и электроники на общем кремниевом основании посредством технологий микропроизводства. Все элементы могут быть реализованы в виде единого изделия, причем сразу десятками или сотнями, как микросхемы на кремниевой пластине. В основе этого лежит апробированная традиционная технология производства полупроводниковых интегральных микросхем.

Сегодня MEMS-устройства применяются практически повсюду. Это могут быть миниатюрные детали (гидравлические и пневмоклапаны, струйные сопла принтера, пружины для подвески головки винчестера), микроинструменты (скальпели и пинцеты для работы с объектами микронных размеров), микромашины (моторы, насосы, турбины величиной с горошину), микророботы, микродатчики и исполнительные устройства, аналитические микролаборатории (на одном кристалле) и т. д. Существуют MEMS-акселерометры способные обнаруживать перемещение в пределах менее чем 1 нм. MEMS-магнетометр размером с рисовое зерно способен обнаруживать запертое оружие на расстоянии 12 м или стальную трубу диаметром 150 мм под землей на глубине 35 м.

В докладе было рассмотрено применение MEMS-устройств в разных сферах техники, технологии изготовления MEMS-устройств подразумевающие традиционные технологические циклы изготовления интегральных схем, адаптированные для создания трехмерных механических структур (это, например, объ-

емная микрообработка, поверхностная микрообработка и так называемая технология LIGA). А также принципы построения MEMS-акселерометров, дисплеев, устройств памяти, источников питания.

Ключевые слова: MEMS технологии, применение, принципы изготовления.

УДК 681.586+531.76

**РОЗВИТОК ТА СТАН МЕМС ТА НЕМС. МОЖЛИВІСТЬ ТА
ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ
БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ВЕКТОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ
ПАРАМЕТРІВ РУХУ**

Казаченко Г.А., Гераїмчук М.Д., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Початок нового століття в приладобудуванні ознаменувався бурхливим розвитком нових напрямків мікроелектромеханічних систем (МЕМС) і наноелектромеханічних систем (НЕМС). Головним у цих напрямках є застосування мікро і наноелектронних технологій, адаптованих на виробництво складних інтегрованих пристроїв і систем.

Можливості прецизійної обробки матеріалів, групова технологія формування приладів, інтеграція механічної й електричної частин приладу (від чутливого елемента на вході схеми до підсилювача, аналого-цифрового перетворювача, мікропроцесора в тракті обробки інформації і виконавчого пристрою на виході), а також різноманітність технологічних процесів є незаперечними перевагами використання досягнень мікро і наноелектроніки при виготовленні мікро і наноелектромеханічних елементів і систем.

МЕМС і НЕМС характеризуються надзвичайно малими масою і габаритами, мають високі динамічні характеристики і малу інерційність, мале енергоспоживанням, низьку вартість і, разом з тим, високу стійкість до зовнішніх впливів.

Необхідно відзначити, що мікро і наномеханічні системи являють собою досить складні пристрої, для проектування й оптимізації функціонування яких, необхідно використовувати комп'ютерне моделювання.

Одним з важливих напрямків використання МЕМС і НЕМС є мікроколивальні системи - акселерометри і гіроскопи, датчики кутової швидкості і мульти-сенсорні датчики.

В роботі проведений аналіз стану нано і мікроелектромеханічних систем для застосування їх при створенні багатокомпонентних векторних мікро-, наноприладів параметрів руху. Розглянуті існуючі мікро/нано пристрої і прилади вимірювання лінійної швидкості і прискорення та кутової швидкості і прискорення, гіроскопи, а також прилади орієнтації та навігації.

Як показує аналіз, а також зважаючи на те, що деякі фізичні ефекти можуть бути реалізовані тільки на основі МЭМС і НЭМС, застосування мікро та нано-

технологій при створенні багатокомпонентних векторних мікро-, наноприладів параметрів руху, є особливо перспективним.

Ключові слова: мікроелектромеханічні системи (МЕМС), наноелектромеханічні системи (НЕМС).

УДК 681.51:351

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Гераимчук М.Д., Лисовой К.В., Банников П.А., Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина

В последнее время в научной литературе уделяется много внимания рассмотрению и перспективам развития нанотехнологий, а также возможностям их применения в различных отраслях человеческой деятельности. Развитие науки о нанотехнологиях обещает большие возможности для применения их при разработке новых материалов, связи, биотехнологии, микроэлектроники и энергетики.

Среди наиболее вероятных достижений использования нанотехнологий, как утверждают эксперты, является увеличение производительности компьютеров, восстановление человеческих органов с использованием вновь воссозданной ткани, получение новых материалов, созданных напрямую из заданных атомов и молекул и появление новых открытий в химии и физике. Так, по прогнозам ученых, применение нанотехнологий в сфере использования энергии света через 10-15 лет может снизить потребление энергии в мире на 10%, обеспечить общую экономию \$100 млрд. и, соответственно, сократить вредные выбросы углекислого газа на 200 млн. тонн.

Мировые инвестиции на проведение научных исследований в области нанотехнологии с каждым годом резко возрастают. Постоянно возрастает количество компаний занимающихся научными исследованиями в области нанотехнологий. В последние годы количество «наноконпаний» превысило 16000. Лидирующие страны мира давно оценили инновационный потенциал нанотехнологий и создали национальные программы в этой области. Наибольшая финансовая поддержка государством наноисследований и развития нанотехнологий наблюдается в Америке, Германии, Франции, Италии, Китае, Японии. Наноматериалы, наноинструменты, наноэлектроника и нанобиотехнологии начинают приносить коммерческую отдачу. Наиболее многообещающими считаются исследования компаний в области нанобиотехнологий, наноэлектроники и создания новых материалов.

В докладе рассмотрен обзор и анализ перспектив развития нанотехнологий в электронике, материаловедении и приборостроении и их возможности при разработке приборов для измерения механических величин, т.е. давления, температуры, ускорения, расхода и других.

Приведен анализ состояния развития нанотехнологий в Украине. Определены наиболее перспективные направления исследований в изучении и применении нанотехнологий.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноэлектроника, перспективные области разработки нанотехнологий.

УДК 62 - 405.6; 681.121.8

ДВИЖЕНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА

*Савицкий Р.С., Корнева Ю.А., Национальный технический университет Украины
„Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

Был проведен обзор литературы по теме „Движение сыпучих материалов на поверхности вращающегося диска”.

В статье инж. А.М.Аопова, инж. Ю.Ф.Дробышева, канд. техн. Наук Л.Л. Корсака „Исследование движения жидкости и твердых частиц в центробежном поле” был рассмотрен характер движения жидкости и минеральных зерен в рабочей зоне центробежного сепаратора. В статье В.Д. Трахтенберга, В.Н. Блиичева, Е. В. Хоченкова, Н. Г Минкина „Движение частиц сыпучего материала в импеллерном дозаторе” рассматриваются некоторые закономерности движения сыпучего материала в рабочей зоне импеллерного дозатора, приведена схема дозатора. В статье Н. М. Смирнова „Разработка конструкции центробежных противоточных мельниц и методика расчета их основных размеров ”, кроме прочего, определяется скорость схода частиц с ротора, при этом рассматриваются силы, действующие на частицу в процессе разгона ротора. Был проведен обзор статьи С.Ю. Боровикова, Л.А. Тарасова, канд. техн. наук, О. А Трошкина „Движение сыпучего материала на поверхности вращающегося диска системы бункер-питатель”.

Полученная информация была систематизирована, и на ее основе были сформулированы некоторые закономерности движения сыпучих материалов на поверхности вращающегося диска.

Ключевые слова: сыпучий материал, диск центробежный, движение.

УДК. 519. 6

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Зинченко В.П., Детлинг В.С., Мирошниченко И.В., Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина

Для оценивания шероховатости [1] поверхностей используются числовые

характеристики: Ra - среднее арифметическое отклонение профиля, вычисленное по значениям абсолютных отклонений профиля для n выбранных точек профиля в пределах базовой длины l и Rz - высота неровностей профиля по десяти точкам в пределах l . Для большинства практических применений достаточно использования Ra и Rz .

В авиации и ракетостроении при изготовлении протяженных объектов нелинейной формы с размерами $L \gg l$ возникает проблема создания математической модели шероховатости, так как здесь необходим учет волнистости обрабатываемой поверхности. Принимая характерный размер (например, период повторения волн T) и полагая $T \gg L \gg l$, можно представить модель шероховатости в виде реализации нестационарного случайного процесса $\eta(l)$ с линейным трендом $\alpha_1(l) = kN$ в пределах l и постоянными дисперсией D и средним квадратическим отклонением $\sigma = \sqrt{D}$ в пределах L , где $k = \text{const}$ - коэффициент изменения номинального размера N или его первого начального момента $\alpha_1(l)$. Данная модель может позволить более обоснованно подойти к выбору параметров аналого-цифровых измерителей шероховатостей, входящих в информационно-измерительную систему контроля качества [2].

Ключевые слова: шероховатость, аналого-цифровые измерители.

Литература

1. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения. Издательство стандартов, 1988.
2. Детлінг В.С., Зінченко В. П. Мірошніченко І.В. Аналіз і синтез систем вимірювання статистичних характеристик випадкових процесів. // Наукові Вісті НТУУ "КПІ": 2006

УДК 621.317

НОВИЙ ГІРОСКОПІЧНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШИРОТИ

Безвесільна О.М., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Для вимірювань широти використовують гіроскопи Фуко другого роду. Однак, на практиці гірошироти використовуються нечасто внаслідок значних похибок, спричинених перехресними кутовими і лінійними прискореннями, що діють на ці прилади. Також важко з необхідною точністю втримувати вісь гіроскопа в площині меридіана. Застосування гіроширотів потребує використання дуже точної стабілізованої платформи, що є складним технічним завданням. Такі гірошироти мають лише одну вісь чутливості і вимірюють проекцію кутової швидкості обертання Землі на цю вісь. Для вимірювання широти місцезнаходження об'єкта застосовують також гіроскопічний маятник - триступеневий гіроскоп, розміщений у внутрішній і зовнішній рамках, центр ваги якого зміщений уздовж осі зовнішньої рамки гіроскопа, розташованої в площині географічного меридіана, відносно осі внутрішньої рамки.

Однак застосування такого гіромаятника потребує використання дуже точної стабілізованої платформи, орієнтованої відносно площини горизонту, що є складним завданням. Крім того, до недоліків гіромаятника належать похибки, зумовлені переважно перехресними кутовими і лінійними прискореннями.

Розроблено прилад, який забезпечує підвищення: точності вимірювань широти за рахунок усунення похибок унаслідок перехресних кутових і лінійних прискорень; достовірності вимірювань за рахунок можливості вимірювати два незалежних значення кута географічної широти; точності виставки за рахунок усунення необхідності використання гіростабілізованої платформи.

Підвищення вимірювальних характеристик досягається з допомогою двох однакових і однаково орієнтованих триступневих гіроскопів, розміщених у внутрішніх і зовнішніх рамках. Центри ваги двох гіроскопів однаково зміщені вздовж осей обертання роторів гіроскопів, розташованих перпендикулярно площині географічного меридіана, відносно осей зовнішніх рамок. Осі зовнішніх рамок карданових підвісів гіромаятників спрямовані по осі oz географічної системи координат. Гіроскопи забезпечені двома електричними датчиками кута (ДК), а також двома електричними датчиками моменту (ДМ), що утворюють дві системи корекції. Виходи двох електричних ДК, закріплених на осях внутрішніх рамок двох гіроскопів, з'єднані з двома електричними ДМ, розміщеними на осях зовнішніх рамок двох гіроскопів. Виходи двох додаткових електричних ДК, розташованих на осях зовнішніх рамок двох гіроскопів, з'єднані з обмотками керування двох допоміжних електричних ДМ, розміщених на осях внутрішніх рамок двох гіроскопів. Вектори кінетичних моментів двох триступневих гіроскопів протилежно напрямлені. Формуються сигнали, пропорційні різниці кутів повороту двох гіроскопів.

Ключові слова: гіроскоп, широта, гравіметрія, механіка.

УДК 621.317

ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ НАВІГАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЛІТАКАХ ПРИ ГРАВІМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

*Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Аналіз сучасних навігаційних засобів, застосованих на літаках, показав: в гірській місцевості навігаційні параметри можна визначати за допомогою інерціальних навігаційних систем або водночас доплерівської та курсової систем і, водночас, аерофотозйомкою достатньої кількості точок уздовж маршруту вимірювання; над рівнинними місцевостями можна використовувати інерціальну навігаційну систему, а також зручно застосовувати різницево-дальномірну й кутомірну радіотехнічні системи водночас із курсовими системами; над морем доцільно комплексне застосування вищезазначених систем.

Для вимірювання широти підтверджено доцільність застосування гіроскопічного приладу нового типу.

Показано, що у приладі для вимірювання широти однакові зміщення в одному і тому самому напрямку центрів ваги двох однакових триступневих гіроскопів уздовж осей обертання роторів відносно осей зовнішніх рамок і розташування на осях зовнішніх рамок двох додаткових датчиків кута, виходи яких з'єднані з обмотками керування двох додаткових датчиків моменту, розташованих на осях внутрішніх рамок приладу, дають змогу отримати нові позитивні ефекти. А саме підвищити точність виставки за рахунок усунення необхідності використання гіростабілізованої платформи (оскільки кожний з двох гіроскопів приладу для вимірювання широти фіксує дві складові абсолютного прискорення, за якими можна визначити підсумковий вектор абсолютного прискорення); усунення похибок, зумовлених перехресними кутовими і лінійними прискореннями. Також забезпечується підвищення достовірності вимірювань (оскільки можна визначити два незалежних значення кута географічної широти).

Встановлено, що із застосовуваних сучасних засобів вимірювань висоти доцільно комплексно використовувати барометричний висотомір над суходолом і радіовисотомір над морем.

Отже, у роботі вирішено проблему дослідження реальної можливості побудови авіаційної гравіметричної системи.

Ключові слова: навігація, гіроскоп, гравіметрія, механіка.

УДК 621.317

ФІЛЬТРАЦІЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Нечай С.О., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Проблему фільтрації вирішено для двох можливих варіантів вихідного сигналу гравіметра, який дорівнює:

- аномаліям прискорення сили ваги і залишковим неточностям у визначенні вертикального прискорення (шуму) літака. Синтезовано фільтр для цього випадку;

- аномаліям прискорення сили ваги і вертикальному прискоренню літака. Синтезовано фільтр для цього випадку.

Визначено (і обчислено), що частотні спектри корисного сигналу аномалії прискорення сили ваги і сигналу збурення вертикального прискорення різні.

З допомогою низькочастотного фільтра, частота якого дорівнює 0,1 рад/с, можна відокремлювати аномалії прискорення сили ваги від вертикального прискорення з похибкою, меншою ніж ± 1 мГл.

Аномалії прискорення сили ваги, виділені за допомогою фільтра з сукупного сигналу $T = \Delta g + \ddot{h}$, є усередненими значеннями аномалій на інтервалах 10^3 м, що цілком задовільно для глобальних вимірювань.

Фільтр усуває у вихідному сигналі гравіметра всі компоненти збурень, переважна частота яких більша за 0,1 рад/с.

До таких віброприскорень належать поступальні віброприскорення, переважна частота яких 3140 рад/с; кутові віброприскорення, переважна частота яких більша за 0,1 рад/с (2,5 рад/с - головний резонанс, 5 і 7,5 рад/с - коливання на обертонах, 0,83 і 1,25 рад/с - субгармонійні коливання тощо). За допомогою фільтрації усуваються похибки: від поступальних коливань - 50 мГл, від кутових віброприскорень - 1 мГл, від вертикального прискорення - $1,4 \cdot 10^4$ мГл, інструментальні похибки - 4 мГл.

Обґрунтовано: якщо за гравіметр АГС взяти прилад, що здійснює інтегрування вхідного сигналу - гіроскопічний інтегратор лінійних прискорень, то в цьому разі немає потреби здійснювати фільтрацію.

Ключові слова: навігація, гіроскоп, гравіметрія, механіка, фільтрація.

УДК 621.317

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІРОСКОПІЧНОГО ГРАВІМЕТРА АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

*Безвесільна О.М., Киричук Ю.В., Коробійчук І.В., Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

В результаті проведених експериментальних досліджень:

- підтверджено доцільність використання як чутливого елементу авіаційної гравіметричної системи (АГС) гіроскопічного гравіметра; показано, що похибка вимірювання аномалій прискорення сили ваги в разі використання гірогравіметра не перевищує 0,1 мГл за найнесприятливіших умов експерименту;
- апробовано і підтверджено доцільність використання розробленої математичної моделі АГС, математичних алгоритмів і програм для визначення аномалій прискорення сили ваги, оцінки роботи гірогравіметра системи;
- підтверджено можливість використання аеронавігаційного обладнання літака ІЛ-18 та визначеного обладнання авіаційної гравіметричної системи;
- продемонстровано точність експериментальних досліджень 0,1 мГл;
- підтверджено всі основні переваги гіроскопічного гравіметра АГС над іншими типами гравіметрів: значно менші похибки, незбурюваність горизонтальними перехресними прискореннями тощо;
- запропоновано й успішно апробовано для подальшого зменшення похибок АГС з використанням гіроскопічного гравіметра цілу низку змін (наприклад, збільшення передаточного коефіцієнту гірогравіметра, застосовано консольний монтаж гірогравіметра тощо);

- підтверджено, що на підставі аналітичного дослідження методичних похибок авіаційної гравіметричної системи під час авіаційних гравіметричних вимірювань уздовж земного меридіана треба точно визначати курс, у разі руху вздовж земної паралелі важливо точно вимірювати швидкість, для середніх широт - широту.

Ключові слова: навігація, гіроскоп, гравіметрія, механіка.

УДК 621.317

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ПОХИБОК ГІРОСКОПІЧНОГО ГРАВІМЕТРА АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

*Безвесільна О.М., Добржанський О.О., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Порівняльний аналіз акселерометрів, розроблених і використаних для авіаційних гравіметричних вимірювань у СНД і США, показав, що найперспективнішими є поплавкові гіроскопічні інтегратори лінійних прискорень (ГІЛП).

Точність вимірювань можна суттєво підвищити за рахунок зменшення динамічних похибок приладу, якщо застосувати гіроскопічний гравіметр (ГГ) нового типу - триступеневий гіроскоп з вертикально розташованою віссю зовнішньої рамки і зміщенням центром ваги відносно внутрішньої і зовнішньої рамок, по відповідних осях якого передбачено дві системи позиційно-інтегральної корекції.

Використання ГГ такого типу дає змогу безпосередньо визначити прискорення сили ваги та його напрямок.

Описано функціональну схему, розглянуто принцип дії гірогравіметра - вимірювача лінійних прискорень, центр ваги якого зміщений відносно лише однієї з його осей. Якщо прийняти передатний коефіцієнт каналу вимірювання вказаних ГГ рівним нулю, то від цих двох схем перейти до схеми ГІЛП.

Проведений аналіз гравіметрів АГС підтвердив доцільність дослідження роботи і застосування нового типу гіроскопічного гравіметра.

Сформовано математичну модель гіроскопічного гравіметра.

Знайдено диференційні рівняння руху гравіметра, що дають змогу аналізувати роботу приладу для різного характеру збурень. Досліджено статичні похибки ГГ.

Для зменшення всіх статичних похибок ГГ запропоновано загальний спосіб - збільшення передаточного коефіцієнта каналу вимірювання. Показано, що при використанні ГІЛП, як гравіметра, слід добирати оптимальні значення кінетичного моменту і маятниковості гіроскопа з урахуванням різного характеру впливу цих параметрів приладу на його статичні похибки. Зміна ж кінетичного моменту пов'язана з модифікацією схеми живлення приладу, а зміна маятниковості - зі зміною конструкції приладу.

Показано, що з усіх джерел, які спричиняють статичні похибки гірогравіметра, слід урахувати вплив найсуттєвіших: інерційного моменту, зумовленого дією вертикального прискорення w_z і гіроскопічного моменту внаслідок дії вертикальної складової кутової швидкості ω_z .

Ключові слова: навігація, гіроскоп, гравіметрія, механіка.

УДК 621.317

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОБІТ У ГАЛУЗІ ВИСОКОТОЧНИХ ВИМІРЮВАЧІВ КУТА

*Безвесільна О.М., Курьята С.В., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Відомі сучасні кутовимірювальні засоби з ручним керуванням і візуальним наведенням на контрольований об’єкт не дозволяють автоматизувати процес вимірювання кутів, мають невисоку вірогідність результатів вимірювань за розрахунок суб’єктивних помилок оператора та недостатню точність вимірювань (5").

Відомі сучасні напівавтоматичні засоби вимірювань кутів (в тому числі кутовимірювальна система ГСІЛ ПО “Арсенал” Україна) мають недостатню точність вимірювань кутів (0,5") та недостатню вірогідність результатів у зв’язку з тим, що процес вимірювань не повністю автоматизований; не дозволяють документувати інформацію безпосередньо в процесі вимірювань.

Сучасні галузі науки і техніки потребують більшої точності вимірювань кутів, ніж можуть забезпечити відомі гоніометри, а саме до 0,3".

Мета роботи – підвищення точності і вірогідності вимірювань кутів шляхом розробки і досліджень нового автоматичного гоніометра з кільцевим лазером.

Проектований в даній роботі автоматизований гоніометр на основі кільцевого лазера дозволяє вимірювати кути з точністю до 0,3". Це прилад, у якому забезпечується цілком автоматизований процес вимірювання і одночасного документування інформації більшої точності та швидкодії од відомих.

Ключові слова: кутовимірювальні засоби, гоніометр, механіка.

УДК 621.317

АНАЛІЗ МЕТОДИЧНИХ ПОХИБОК АГС У РАЗІ ДОВІЛЬНОГО РУХУ ОСНОВИ

*Безвесільна О.М., Ткаченко О.А., Ткаченко І.С., Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Визначено вираз рівняння руху авіаційної гравіметричної системи (АГС) для

загального випадку руху основи, який відрізняється від відомих наявністю додаткових поправок.

Вираз поправки Етвеша відрізняється від відомих додатковим членом $2\dot{h}er^{-1}v\cos k\sin 2\varphi$, вплив якого треба враховувати при можливих великих значеннях вертикальної швидкості літака. Похибка від неврахування впливу цього додаткового члена становить 1 мГл, тобто недопустимо велика.

Вираз поправки за висоту відрізняється від відомих додатковим членом $\omega_3^2 h \cos^2 \varphi$. Похибка від неврахування впливу цього додаткового члена становить 2,67 мГл, тобто недопустимо велика. Тому вплив цього додаткового члена також слід враховувати.

Проведено аналіз отриманого рівняння руху АГС і визначено функціональну схему АГС.

Знайдено аналітичні вирази та обчислено коефіцієнти чутливості сумарної похибки вихідного сигналу АГС до похибок вимірювання таких параметрів руху літака: швидкості, курсу, широти, висоти, вертикальної швидкості, вертикального прискорення, шляху для різних режимів польоту.

Досліджено зміни чутливості похибки вихідного сигналу АГС до похибок вимірювання швидкості залежно від широти місця при постійних значеннях курсу, а також від курсу літака при постійних значеннях широти.

Дослідження чутливості АГС до похибок вимірювання швидкості, широти і курсу залежно від ряду параметрів руху літака показало, що в разі авіаційних гравіметричних вимірювань уздовж земного меридіана необхідно точно визначати курс, уздовж земної паралелі — точно вимірювати швидкість, у середніх широтах — широту.

Ключові слова: кутовимірювальні засоби, гоніометр, механіка.

УДК 621.317

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОГРАФІЧНОЇ ШИРОТИ

*Безвесільна О.М., Овсієнко О.О., Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Аналіз стійкості приладу для вимірювання географічної широти виконуємо за логарифмічно-частотними характеристиками.

Передатна функція приладу має вигляд:

$$W(p) = \frac{\kappa'}{(Tp + 1)^2}, \quad (1)$$

де $\kappa' = 0.24 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$; $T = 0.4 \text{ с}$.

Так як передатна функція не містить інтегруючої ланки, то ділянка логарифмічної амплітудної характеристики (ЛАХ) до частоти зрізу паралельна осі частот і буде відстояти від неї на величину:

$$20 \lg \kappa' = 20 \lg 0.24 \cdot 10^{-2} = -52.4. \quad (2)$$

Після частоти зрізу, так як маємо аперіодичну ланку другого порядку, ЛАХ буде мати нахил -40 дБ/дек.

Логарифмічну фазову характеристику (ЛФХ) знаходимо за формулою:

$$\varphi(\omega) = -2 \arctg(\omega \cdot T).$$

Запас стійкості за фазою дорівнює 90° . Так як запас стійкості перевищує 30° , то систему можна вважати стійкою. Так як фазова характеристика не пересікає лінію $\varphi(\omega) = -\pi$, а лише асимптотично наближається до неї, запас стійкості за амплітудою теоретично безмежний.

Величину запасу стійкості за амплітудою визначимо за критерієм Гурвіца. З передатної функції маємо характеристичне рівняння:

$$0.16 \cdot p^2 + 0.8 \cdot p + 1.0024 = 0. \quad (3)$$

$$\text{Складемо головний визначник: } \begin{vmatrix} 0.8 & 0 \\ 0.16 & 1.0024 \end{vmatrix} = 0.802. \quad (4)$$

Так як визначник Гурвіца та всі коефіцієнти характеристичного рівняння додатні, то система є стійкою.

Запас стійкості визначимо за формулою:

$$A_{зан} = \frac{\kappa_{np}}{\kappa'}, \quad (5)$$

$$\text{де } \kappa_{np} = \frac{2}{T} = \frac{2}{0.4} = 5. \text{ Тоді: } A_{зан} = \frac{5}{0.0024} = 2083.$$

З аналізу робимо висновок: система достатньо стійка.

Ключові слова: стійкість, прилад для вимірювань широти, навігаційні системи.

УДК 531.383

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ГРАВІМЕТРА З ДИНАМІЧНИМ НАСТРОЮВАННЯМ

*Безвесільна О.М., Литвиненко П.Л., Нечай С.О., Національний технічний університет
України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Актуальним у науковому й практичному плані є створення гравіметрів нових типів, які б мали більшу чутливості, ніж відомі, і в яких можна було б ефективно відокремлювати корисний сигнал від сигналу перешкод.

Таким вимогам відповідає гравіметр, побудований за схемою, подібною до конструктивної схеми роторного вібраційного гіроскопу. Відмінність полягає в тому, що центр мас ротора не розташований на осі його підвісу, а зміщений на

деяку відстань у радіальному напрямку. У розглянутій схемі ось підвісу перетинає ось обертання ротора.

Таке конструктивне рішення не є оптимальним, бо завдяки наявності дебалансу при обертанні ротора виникають радіальні навантаження в опорах осі ротора а також на пружний підвіс ротора. Для усунення цих негативних впливів необхідно застосовувати додаткові конструктивні елементи, наприклад введення у конструкцію балансувальних елементів, підсилення елементів пружного підвісу і т. ін.

Передавальний коефіцієнт такого пристрою визначається величиною маятниковості ml , де m – маса ротора, l – величина зміщення центру мас ротора. Очевидно, що для даної схеми збільшення передавального коефіцієнту можливе головним чином за рахунок збільшення маси ротора та відстані l . Але це веде до збільшення вище зазначених радіальних навантажень і тому обмежене умовами міцності підвісу ротора.

Для усунення цих недоліків пропонується схема гравіметра, центр мас ротора якого знаходиться на осі його обертання. При цьому необхідна маятниковість досягається зміщенням осі підвісу ротора відносно осі його обертання. Таке схемне рішення дозволяє значно збільшити величину маятниковості не тільки збільшенням маси ротора, а й суттєвим збільшенням відстані l . При однакових масово-габаритних показниках цієї схеми у порівнянні з попередньою очевидно можна мати значно більший передавальний коефіцієнт, тобто отримати більшу чутливість.

Гравіметр, чутливість, підвіс ротора, радіальні навантаження.

УДК 681.121.8, 681.123, 621.313.333

ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО УПРАВЛІННЯ ПРИВОДОМ МАСОВОГО ВИТРАТОМІРА СИПКИХ РЕЧОВИН

*Корнєва Ю.О., Нікітін О.К., Зайцев В.М., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

В вимірювальних схемах витратомірів, побудованих на принципі Коріоліса, статична характеристика описується рівнянням: $M = \omega \cdot R^2 \cdot \frac{dm}{dt}$, де M – момент сили інерції Коріоліса, ω – швидкість обертання вимірювального колеса, R – зовнішній радіус колеса. Цілком закономірно те, що тільки за умови сталої швидкості обертання $\omega = \text{const}$, ця характеристика буде мати лінійний характер.

Залежність швидкості обертання вимірювального колеса від моменту навантаження визначається механічною характеристикою електричного двигуна, що слугує приводом витратоміра. Різні типи електродвигунів мають різні механічні характеристики.

Асинхронні двигуни виділяються серед інших типів електричних машин простотою конструкції, дешевизною, високою надійністю та, що особливо важливо для обліку сипких речовин, можливістю експлуатації в вибухонебезпечних умовах. Але суттєвим недоліком є залежність швидкості обертання ротора асинхронного двигуна від моменту навантаження на його вихідному валу, отже статична характеристика витратоміра з асинхронним двигуном не є лінійною.

Для забезпечення високих показників по рівномірності швидкості обертання та обертового моменту застосовуються методи векторного управління асинхронним електродвигуном. Ці методи передбачають використання рівнянь руху не в стаціонарній системі координат, а в обертовій системі Парка-Горєва, що пов'язана з потокозчепленням ротора. Для ефективної реалізації векторного управління необхідно мати інформацію про швидкість обертання ротора двигуна. Отримання цієї інформації здійснюється або за рахунок введення в систему управління додаткових перетворювачів швидкості, або шляхом обробки показань перетворювачів струму статора з метою отримання пазових пульсацій. Другий спосіб називається бездатчиковим і є найбільш ефективним, так як не відбивається на експлуатаційних характеристиках системи в цілому.

Апаратно векторне управління приводом витратоміра здійснюється за допомогою силового інвертора на IGBT-транзисторах та системи керування.

Таким чином при реалізації методу векторного управління приводом витратоміра швидкість обертання останнього не буде залежати від моменту навантаження, що дозволяє визначати витрати сипких речовин лише за показаннями перетворювачів моменту сили інерції Коріоліса.

Ключові слова: векторне управління, витратомір, асинхронний двигун, сила Коріоліса.

УДК 681.2.08+531.66

ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНОЇ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ УДАРНИКУ З ПРУЖНОЮ ВИМІРЮВАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ

Казаченко Г.А., Нікітін О.К., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Підвищення надійності і довговічності сучасних машин і об'єктів, що рухаються, попередження шкідливих вібраційних і ударних впливів на організм людини, упровадження ряду нових високоефективних технологічних процесів тісно зв'язані з визначенням параметрів удару, причому в задачі цих вимірювань входить не просте виявлення удару, а глибоке вивчення його параметрів, реакції окремих вузлів об'єкта на ударне збудження і т.п..

В основу дослідження положено визначення величини силової взаємодії та місця удару (координати) між пружною вимірювальною системою та ударником по вихідним сигналам первинних вимірювальних перетворювачів.

Пружна вимірювальна система уявляла собою чотири, жорстко закріпленні на закладних елементах фундаментної тумби, тензометричні датчики сили (консольного типу, працюючі на зсув, РКП=1,5 мВ/В, НГВ=500 кг) жорстко з'єднанні з удароприйомною платформою (500х500х10 Сталь 45 ГОСТ 1050-88). В якості вимірювальної апаратури була використана вимірювально-оброблювально-запам'ятовуюча система, до складу якої входили: фільтр-підсилювач на базі AD 620, 16-ти розрядний, високої швидкодії (45 КГц) вимірювальний аналого-цифровий перетворювач встановлений в ISA-слот материнської плати ПК.

Для визначення значення силової взаємодії були проведені експерименти, в результаті яких були отримані вихідні сигнали – імпульсні характеристики всієї системи в цілому та кожного окремого тензометричного датчику сили(ТДС). Експеримент проводився при сталих: маса ударнику - 0,263кг, висота кидання - 1м, координат удару - (0;0)(центр платформи).

Для визначення координат – місця удару були проведені експерименти визначення поля розподілу та зміни силової взаємодії в залежності від відстані до ТДС, та відстані від головної діагоналі.

За отриманими результатами задача по визначенню значення силової взаємодії та місця – координат удару є цілком рішальною. По отриманим даним можливо визначити сімейство кривих, кожна з яких відповідатиме окремому значенню силової взаємодії визначеним ТДС. При побудові в системі координат ТДС кривих відповідних значенню силової взаємодії для кожного ТДС можливе знаходження точки перетину цих кривих, що і відповідатиме координаті удару, а сумарна силова взаємодія – імпульс сили всієї системи визначатиметься як сума максимальних силових взаємодій кожного ТДС.

Ключові слова: пружна вимірювальна система, удар, імпульс.

УДК 531.768 082.14

ВИБІР ПРУЖНИХ ПІДВІСІВ МІКРОСИСТЕМНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

Падалка Л.М., Дубинець В.І., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Початок нової епохи в приладобудуванні ознаменувався розвитком нового напрямлення мікроелектромеханічних систем (МЕМС). Гідне місце в МЕМС зайняли інтегральні датчики первинної інформації.

Представлено інтегральний акселерометр, відповідальним вузлом якого являється кремнієвий чутливий елемент (маятник).

Інтегральний маятник виконується із провідного кремнію марки КЕФ-4,5 і являється одночасно рухомими електродами диференціального ємнісного датчика переміщення.

Особливістю інтегрального маятника являються короткі підвіси із криволінійними боковими обводами, що дозволяють задати вісь качання маятника. Тим самим конструктивно маятнику забезпечується лише одна степінь свободи, а саме – кутові рухи відносно вісі качання.

На теперішній час розроблені конструкції чутливих елементів (ЧЕ) та виявлено основні властивості при їх виборі, зокрема, матеріалу, що застосовується при їх виготовленні (кварц, кремній, берилієва бронза), розрахована жорсткість та чутливість таких ЧЕ.

Ключові слова: акселерометр, жорсткість, кремній, мікромеханіка, пружний підвіс, чутливість.

УДК 681.586

ВИКОРИСТАННЯ НОРМУЮЧИХ ФОЛЬГОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В ВАГОВИМІРЮВАЛЬНИХ ДАТЧИКАХ

*Піонтковська О. Ю., Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Моральне старіння механічних вагів і великі можливості, які надають електронні засоби вимірювання маси - зменшення помилок, пов'язаних з «людським чинником», скорочення часу зважування, техобслуговування і ремонту вагів, можливість автоматизації процесу зважування, передачі даних про зважування у бухгалтерські програми, об'єднувати різні ваги в єдиний комплекс, і багато що інше ставлять нагальним питання збільшення точності ваговимірювальних датчиків.

Найбільш розповсюдженим в теперішній час типом ваговимірювальних датчиків являються тензорезисторні датчики, основою яких є фольгові тензорезистори, які об'єднуються в мостову схему на виході якої виникає напруга пропорційна вимірювальній масі. Але оскільки на тензорезистори впливає багато навоколишніх факторів, які викликають появу похибки, звичайну мостову схему доповнюють додатковими опорами, які покликані зменшити температурний вплив на покази, нелінійність, компенсувати повзучість і гістерезис.

На даний час застосування в якості додаткових опорів перетворювачів нормуючих фольгових (ПНФ) - найбільш розповсюджена технологія для налаштування тензодатчиків сили в Україні. ПНФ – виготовляються з різних матеріалів (мідь, нікель, константан) та для різних цілей (компенсувати адитивну складову температурної похибки, мультиплікативну та ін.).

Експериментальні дослідження деяких датчиків сили (БА1005, БА1004, 9035 ДСТ, ДЄДВУ) показали, що компенсація похибок з необхідною для побудови сучасних електронних ваг точністю не вдається. Це викликало необхідність додаткових експериментальних досліджень самих ПНФ для вирішення питання можливості їх застосування не тільки для виготовлення датчиків сили з точніс

тю вимірювання 0,1%, а і для ваговимірювальних датчиків класу точності С3 (0,02-0,03%). На основі цього було вирішено провести досліди для вивчення можливостей ПНФ з метою встановити їх метрологічні характеристики.

Дослідженню були підвергнуті партії ПНФ типів 1Т, 2Т, С, Б. Досліджувалися ймовірні характеристики партій перетворювачів кожна з яких складалась з 100 штук.

Дослідження показали принципову можливість застосування серійних ПНФ для побудови ваговимірювальних датчиків категорії точності С3. Практична доцільність застосування ПНФ обмежена типовою методикою настроювання нормуючих схем, яка була розроблена ще в 70-х роках минулого сторіччя, і являє собою послідовність чотирьох операцій – температурної компенсації начального коефіцієнту передачі (НКП), нормування НКП, температурної компенсації робочого коефіцієнту передачі (РКП) та нормування РКП. Використання типової методики робить процес настройка повільним і трудоемким, який займає більшість часу виготовлення датчика та до 70 % вартості виготовлення датчика.

Пропонується спростити методику настройки датчика за рахунок побудови математичної моделі вимірювального ланцюга та автоматизації розрахунку необхідних номіналів ПНФ на ПСOM та проведення мінімальної кількості циклів нагрівання і охолодження датчика. Розроблена комп'ютерна програма та проведені розрахунки ймовірних характеристик кінцевих результатів дозволили практично застосувати ПНФ для побудови тензометричних датчиків класу точності С3 та зменшити час настроювання в 2,5 – 3 рази. Це дозволить зменшити ціну датчика, що буде сприяти його конкурентоспроможності на ринку.

Ключові слова: тензодатчики, вимірювання ваги.

УДК 681.586''326

КОМПЕНСАЦІЯ ПОХИБОК ТЕМПЕРАТУРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПОРУ

Погуляйко О.М., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Температурна характеристика опору тензорезистора – це залежність вихідного сигналу тензорезистора встановленого на зразок, з визначеним температурного коефіцієнтом лінійного розширення, що вільно розширюється від температури. Вона визначається експериментально у відповідності до ГОСТ 21616 – 88 і представляється у вигляді поліному

$$\varepsilon(t) = C_1 \cdot t^n + C_2 \cdot t^{n-1} + \dots + C_n \cdot t + C_{n+1},$$

– коефіцієнти $C_1, \dots, C_{n+1}$ де

Однак такий вигляд температурної характеристики не відображає фізичної сутності температурного приросту опору наклеєного тензорезистора, яке зале-

жить від температурних коефіцієнтів опору чутливого елемента і від різниці температурних коефіцієнтів лінійного розширення матеріалу чутливого елемента тензорезистора (константової фольгової решітки) і пружного елемента, на який він встановлений.

Таким чином температурну характеристику опору можна записати у наступному вигляді

$$\varepsilon(t) = \int_{t_0}^t \alpha_t dt + \int_{t_0}^t K_{пер} (\beta_{tm} - \beta_{tc}) dt$$

де α_t – поточне значення температурного коефіцієнта опору чутливого елемента тензорезистора;

β_{tm}, β_{tc} – поточні значення температурного коефіцієнта розширення матеріалу пружного елемента і чутливого елемента тензорезистора;

$K_{пер}$ – коефіцієнт перетворення деформації чутливим елементом;

t, t_0 – початкова і кінцева температури.

Отже, тензорезистор не буде змінювати свого опору при зміні температури, тобто буде повністю скомпенсований, якщо

$$\int_{t_0}^t \alpha_t dt = -K_{пер} \times \int_{t_0}^t (\beta_{tm} - \beta_{tc}) dt$$

Зазвичай тензорезистори з одним і тим самим чутливим елементом застосовуються на пружних елементах, матеріали яких мають значення, що різко відрізняються і для досягнення термокомпенсації встановлюваних на ці матеріали тензорезисторів значення для чутливого елемента повинні змінюватись в широкому діапазоні.

Температурний коефіцієнт опору тензочутливих матеріалів можна лише підвищувати шляхом віджигу за рахунок фазових і структурних, змін що протікають у матеріалі при його термообробці. Але, якщо початковий температурний коефіцієнт опору „сирої” фольги чутливого елемента більший ніж необхідно, то відрегулювати його вже неможна.

Як показали дослідження спеціалізованого підприємства ТОВ «ВЕДА» необхідно підбирати хімічний склад фольги чутливого елемента таким чином, щоб початковий температурний коефіцієнт опору був на $10 \dots 12 \times 10^{-6} \frac{1}{C^0}$ нижчим за той який необхідно отримати після термообробки. Цього можна досягти змінюючи відсоток присадок у константовій фользі а саме марганцю (Mn) і заліза (Fe).

Ключові слова: тензорезистор, температурна похибка, термообробка.

УДК 681.586''326

КОМПЕНСАЦІЯ ЧАСОВИХ ПОХИБОК ТЕНЗОРЕЗИСТОРНИХ ДАТЧИКІВ

*Погуляйко О.М., Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут», м. Київ, Україна*

Для ряду промислових, комерційних та дослідницьких вимірювань необхідно створювати високоточні тензорезисторні датчики сили, тиску, переміщення та інші, похибки яких вимірюються сотими і тисячними долями процентів. У цьому випадку похибки за рахунок часових змін деформації пружних елементів, що викликані пружними недосконаlostями їх матеріалів, такими, як гістерезис, пружна післядія, повзучість вносять помітний вклад в похибку вимірювання, що ускладнює створення датчиків високої точності.

Часові зміни деформації пружного елемента, мають додатній знак, тобто ці зміни за знаком співпадають зі зміною деформації пружного елемента від вимірюваного параметра. Отже, якщо на пружний елемент встановити тензорезистори, що мають від'ємну повзучість, то відбудеться компенсація часових змін вихідного сигналу від пружних недосконаlostей елемента і викликана цим похибка вимірювального пристрою буде відсутньою.

Тензорезистор дійсно має від'ємну повзучість за рахунок релаксації клейового шару під кінцевими проміжками (перемичками) фольгової решітки. Але, якщо повзучість пружного елемента визначається лише його геометричними параметрами, матеріалом та типом деформації, то параметрів від яких залежить повзучість багат шарового тензорезистора значно більше: тип клею, товщина та ступінь полімеризації клейових шарів, товщина, жорсткість та гігроскопічність підложки, геометричні параметри чутливої фольгової решітки та інші.

За інших рівних умов повзучість тензорезистора найпростіше регулювати геометричними параметрами вимірювальної решітки, а саме довжиною кінцевих проміжків. Найбільші напруження зсуву в клейовому шарі тензорезистора виникають по краях решітки, а найменші в центрі решітки. Отже, чим довший неробочий кінцевий проміжок решітки тим менший за абсолютною величиною вплив релаксації клейового шару під активною частиною решітки (вимірювальними нитками) і тим менша повзучість тензорезистора.

Останнє дозволяє розробити методику компенсації часових похибок пружних елементів тензорезисторних датчиків шляхом застосування тензорезисторів з визначеним значенням повзучості, які отримують у тензорезисторів змінюючи співвідношення довжини кінцевого проміжку до ширини нитки вимірювальної решітки. Для компенсації це співвідношення повинно бути обраним таким чином, щоб повзучість встановлених тензорезисторів були рівні за абсолютною величиною але протилежні за знаком повзучості пружних елементів вимірювальних пристроїв.

Ключові слова: тензорезистор, датчик, повзучість, релаксація.

УДК 681.586

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАГОВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

*Поляк О.О., Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут», м. Київ, Україна*

На сьогодні в системах вимірювання маси найбільш поширеними є тензорезисторні вимірювальні перетворювачі сили, робота яких основана на тензоефекті, що заключається в зміні електричного опору матеріалу при його механічній деформації. Головним параметром, який визначає динамічні властивості датчика є частота власних коливань пружного елемента. Метою проведених досліджень було визначення частоти власних коливань чутливого елемента датчика сили. Зразками для дослідження виступили: пружний елемент у вигляді стержня з квадратним поперечним перерізом, хрестоподібної балки, стержень з двома круглими отворами. В тензорезисторних датчиках, які досліджувались в даній роботі, використовується мостова схема електричного ланцюга.

Методика дослідження полягала у відтворенні перехідного процесу – реакція системи на імпульсний удар та реєстрації вагової імпульсної характеристики за допомогою аналого-цифрового перетворювача.

Власна частота коливань пружного елемента – це частота з якою чутливий елемент буде коливати у динамічному режимі роботи, при відсутності демпфування. Для відтворення імпульсного удару була використана куля, маса якої підбиралася згідно з заданими початковими параметрами, що відпускалася з заданої висоти. Сила імпульсного удару, що викликав коливання чутливого елемента обчислювалася з використанням законів збереження енергії.

Реакція на удар відслідковувалась по каналу, який сполучав вихідні клеми мостової схеми та вхідні ланцюги аналого-цифрового перетворювача (АЦП) електронної плати L-Card 791.

За допомогою АЦП вихідна напруга мостової схеми була перетворена на цифрову інформацію та виведена на екран комп'ютера, за використання програмного пакета L-GRAPH, у вигляді осцилограм. Обробка отриманих результатів, визначення частоти власних коливань, була здійснена за допомогою програмного продукту MatLAB. Використовуючи метод найменших квадратів, в середовищі MatLAB були підібрані коефіцієнти рівняння коливання перехідної системи в якій є демпфування:

$$y(t) = a_0 + a_1 \times e^{-\xi t} \cos (wt + \varphi),$$

де a_0 – зсув кривої по вісі абсцис,

a_1 – амплітуда вихідної величини,

ξ – коефіцієнт демпфування,

w – частота перехідного процесу,

φ – фаза на яку зміщується крива.

Дані експериментального дослідження дозволили зробити висновок, що частота власних коливань залежить від геометричних параметрів чутливого елемента і з прийнятною точністю може бути розрахована аналітично, при використанні запропонованої математичної моделі. В процесі проектування датчиків, використовуючи дані дослідження, можна підбирати геометричні параметри чутливого елемента, щоб отримати власну частоти потрібної величини.

Ключові слова: ваговимірювальні системи, тензоефект, імпульсний удар.

УДК 665.637

СИНТЕЗ ІВС КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ТА ДИСПЕРСНОСТІ ВОДНО-МАЗУТНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Осадчий В.В., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Для покращення техніко-економічних, а також екологічних показників котельних агрегатів, які працюють на мазуті, безперечно, необхідно впроваджувати спалювання водно-мазутних емульсій (ВМЕ).

Ефект при переході до спалювання ВМЕ досягається за рахунок явища „мікрровибуху”. Крапля емульсії із розподіленими по її об’єму дрібнодисперсними включеннями води починає закипати в середовищі топки раніше по часу і при більш низькій температурі завдяки додатковому подрібненню при „розривній дії” водяного пару, внаслідок чого відбувається більш повне згорання палива. Відкритим лишається питання впливу складу та дисперсності фази ВМЕ на ефективність роботи „мікрровибуху”.

Задачею нашого дослідження є розробка інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), яка б дозволила визначати оптимальну дисперсність водно-мазутної емульсії з метою забезпечення найбільш ефективного її спалювання.

В запропонованій ІВС вимірювання реологічних параметрів представляє можливість оцінки дисперсності ВМЕ безпосередньо в потоці. До складу даної системи входять: мостовий дросельний перетворювач (МДП) як вимірювальний перетворювач кінематичної в’язкості, термостат для стабілізації температури в зоні вимірювання, контур регулювання подачі кількості води із магістральним давачем вологості мазуту для зміни вологовмісту ВМЕ, шестерний насос для створення постійної витрати через МДП та роторний кавітатор з електроприводом, який забезпечує дрібнодисперсне змішування емульсії. Обробка вимірювальної інформації в даній ІВС здійснюється персональним комп’ютером зі спеціальним програмним забезпеченням.

Із паливопроводу, що подає ВМЕ на форсунки, здійснюється відбір емульсії до перетворювача для експрес аналізу її фізико-механічних властивостей. При відомому постійному значенні об’ємної витрати через МДП, що створюється насосом в момент рівноваги моста можна визначити кінематичну в’язкість рідини, що дасть змогу судити про дисперсність ВМЕ.

Опираючись на ці дані, можна керувати частотою обертання електродвигуна кавітатора, і тим самим змінювати дисперсність водної фракції емульсії.

Побудований макет ІВС, яка в основному складається із стандартних нормованих пристроїв, за винятком МДП. Розроблена програма розрахунку конструктивних параметрів МДП з урахуванням вибраного діапазону температур і в'язкості ВМЕ. Проведено лабораторні дослідження ІВС, які підтвердили теоретичні положення і на основі яких вносяться конструктивні зміни у виконання окремих вузлів системи.

Ключові слова: водно-мазутна емульсія, дисперсність, вологонасиченість.

УДК 681.2.08

СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОФЛЮЇДНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ

*Юрчевський Є.В., Національний університет водного господарства і
природокористування, м. Рівне, Україна*

Для вимірювання динамічної в'язкості нафтопродуктів широко застосовують капілярні віскозиметри, чутливим елементом якого є зрівноважений мостовий дросельний перетворювач (МДП), складений з капілярів (ламінарих дроселів – ЛД) різної довжини в мостову вимірювальну схему. Стан рівноваги МДП досягається зміною гідравлічного опору ламинарного дроселя в одному або двох протилежних плечей моста.

В якості регулюючого дроселя в МДП пропонується застосувати електрофлюїдний перетворювач (ЕФП), що представляє собою гідравлічний канал циліндричної форми в діелектричному корпусі, в якому розміщені по одній осі два металевих електроди, один з яких виконаний у вигляді голки, а інший – у вигляді короткої трубки (втулки) або довгої трубки (капіляра). Тобто маємо два види конструкцій ЕФП: голка – втулка (ЕФП-ГВ) і голка – капіляр (ЕФП-ГК). До голкового електрода підводиться від'ємний потенціал, а до трубчатого – додатний. При зміні величини прикладеної напруги (від 4кВ до 25кВ) внаслідок електрофлюїдного ефекту змінюється гідравлічний опір і, відповідно, перепад тиску на ЕФП. Отже МДП буде представляти собою мостовий електрофлюїдний перетворювач (МЕФП), в якому стан рівноваги досягається зміною напруги на електродах одного або кількох ЕФП.

Залежно від виду конструкції, кількості електрофлюїдних перетворювачів, необхідних для зрівноваження МДП, і способу включення ЕФП до потоку рідини (зустрічно або узгоджено), існують такі гідравлічні схеми МЕФП: а) чотири ЛД і один ЕФП-ГВ, включений в одне із плечей гідравлічного моста (4ЛД – 1ЕФП-ГВ), б) два ЛД і два ЕФП-ГК, включені зустрічно до потоку рідини по одному в протилежні плечі гідравлічного моста (2ЛД – 2ЕФП-ГК), в) чотири ЛД і два ЕФП-ГВ, включені зустрічно до потоку рідини по одному в

протилежні плечі гідравлічного моста (4ЛД – 2ЕФП-ГВ), г) чотири ЛД і чотири ЕФП-ГВ, включені зустрічно до потоку рідини і послідовно по два в протилежні плечі гідравлічного моста (4ЛД – 2×2ЕФП-ГВ), д) чотири ЛД і чотири ЕФП-ГВ, два з яких включені зустрічно до потоку рідини по одному в протилежні плечі гідравлічного моста, а два інших – узгоджено до потоку рідини і по одному в інші протилежні плечі (4ЛД – 4×1ЕФП-ГВ).

Проведений розрахунок і аналіз гідравлічних схем МЕФП показав, що оптимальними щодо використання у віскозиметрах є схеми б), в) і г).

Ключові слова: в'язкість, мостовий дросельний перетворювач, ламінарний дросель, електрофлюїдний перетворювач, гідравлічні схеми.

УДК 681.2:532.137

АВТОМАТИЧНИЙ ВІСКОЗИМЕТР З ПРИВЕДЕННЯМ ВИМІРЯНОГО ЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОСТІ ДО ЗАДАНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

Древецький В.В., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

В'язкість рідин в значній мірі залежить від температури, тому для об'єктивної оцінки її значення необхідно завжди вказувати, при яких температурних умовах здійснювалось вимірювання. Оскільки процес вимірювання в'язкості достатньо трудомісткий, то визначення в'язкісно-температурних параметрів нафтопродуктів в широкому діапазоні температур, дає з запізненням необхідну інформацію для контролю і управління технологічними процесами нафтопереробки. Визначення в'язкості нафтопродуктів при заданій температурі може бути виконано шляхом термостатування первинного перетворювача віскозиметра, або шляхом перерахунку значення в'язкості, виміряного при довільній температурі, на задане значення температури. Останній шлях є більш доцільним, коли для певного виду нафтопродукту необхідно визначати нормовані значення в'язкості при кількох температурах, або при визначенні такого показника якості, для розрахунку якого необхідно знати в'язкість нафтопродукту при двох різних температурах.

Одним з напрямків розв'язання проблеми визначення в'язкісно-температурних параметрів нафтопродуктів є використання в віскозиметрах обчислювальних пристроїв, які здійснюють аналітичні розрахунки на основі прямих вимірювань в'язкості при довільній температурі. Для розрахунку значення кінематичної в'язкості ν для заданої температури T , в якості стандартного, використовується рівняння Вальтера:

$$(\nu + a)^{T^m} = K,$$

де $a=0,8$, m і K – сталі.

Дане рівняння доцільно використовувати для мастил, при технічній можливості вимірювання в'язкісно-температурної залежності в двох точках.

Для визначення кінематичної в'язкості мастил при заданій температурі, до складу віскозиметра входять два дросельних мостових перетворювачі (ДМП), які складаються з різних за конструктивними параметрами двох пар ламінарних і двох пар турбулентних дроселей.

Мастило, яке досліджується, прокачується послідовно через два ДМП з різними коефіцієнтами перетворення K_1 і K_2 , за допомогою задавача постійної витрати. При підтримуванні постійної витрати Q , стан рівноваги першого ДМП досягається при значенні кінематичної в'язкості ν_1 , а другого – відповідно при значенні в'язкості ν_2 .

Рівновага мостових гідравлічних схем фіксується нуль-індикаторами, в якості яких використовуються дифманометри. При відхиленні кінематичної в'язкості від заданих значень ν_1 і ν_2 , рівновага гідравлічних мостових схем порушується і вихідні сигнали нуль-індикаторів поступають на регулятори температури. Регулятори температури змінюють нагрів мастила, яке досліджується, до моменту досягнення рівноваги мостової гідравлічної схеми, відповідно першого і другого ДМП. Значення температури мастила в кожному ДМП неперервно вимірюється термометрами.

Вихідні сигнали з термометрів поступають на обчислювальний пристрій, в якому по певній залежності, наприклад, по формулі Вальтера здійснюється розрахунок значення кінематичної в'язкості ν , при заданій температурі приведення T , яка задається задавачем. Результат розрахунків реєструється вторинним приладом.

В розробленому віскозиметрі в'язкість мастила, яке досліджується, стабілізується з високою точністю і є величиною наперед відомою для кожного з двох ДМП, а вимірювання температури зрівноваження гідравлічних мостових схем можна здійснювати стандартними термометрами з похибкою не більше 0,1%, що дозволяє на основі прямих вимірювань з достатньо високою точністю розраховувати значення кінематичної в'язкості для заданих температур, а також визначати індекс в'язкості мастил.

Ключові слова: віскозиметр, кінематична в'язкість, температура.