

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Беринцева Алексея Валентиновича «Повышение точности измерения параметров слабых электрических сигналов многоэлементных и позиционно-чувствительных датчиков», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения (электрические измерения)

### 1. Структура и объем диссертации

Диссертация выполнена на кафедре «Радиотехника, опто- и наноэлектроника» Ульяновского государственного технического университета, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Общий объем работы составляет 158 страниц, в том числе 137 страниц основного текста, 6 таблиц, 72 рисунка, список литературы на 14 страницах, включающий 128 наименований, 3 приложения на 7 страницах, содержащих акты о внедрении результатов диссертационной работы, технические характеристики ПЗС- и КМОП-фотоприемников, дополнительные иллюстрации к работе программы настройки расходомера-счетчика РС-СПА.

*Первая глава* посвящена анализу двухэлементных дифференциальных преобразователей (ДП), координатно-чувствительных и многоэлементных фотоэлектрических преобразователей. Автором показано, что основным источником погрешностей ДП являются синфазные шумы. На основе анализа природы шумов многоэлементных датчиков определен набор факторов, ограничивающих точность проводимых измерений. Сделан обоснованный вывод, что для повышения быстродействия при сохранении чувствительности измерений слабых нестационарных сигналов в условиях помех необходима разработка новых эффективных алгоритмов обработки сигнальной информации.

*Во второй главе* рассмотрены способы повышения точности и помехозащищенности различных измерительных устройств за счет применения спектральный методов обработки сигналов. В частности, рассмотрен расходомер-счетчик РС-СПА, использующий струйный автогенераторный элемент, для которого задача повышения помехозащищенности и улучшения разрешающей способности решена за счет использования быстрого преобразования Хартли (БПХ). На основе проведенного моделирования автором предложен способ определения частоты узкополосного сигнала на основе БПХ с использованием синусной составляющей. Кроме того, в данной главе автором рассмотрена возможность применения спектральных методов обработки сигналов для координатно-чувствительных фотоприемников (КЧФ). Показана возможность снижения уровня собственных и внешних синфазных помех КЧФ при использовании дифференциальной схемы включения с питанием модулированным напряжением. Рассмотрена возможность использования КЧФ в весоизмерительных устройствах с применением теневого метода измерения с целью повышения помехозащищенности и чувствительности данных приборов.

*В третьей главе* представлены результаты моделирования алгоритма корреляционной обработки сигналов многоэлементных фотоприемников



применительно к задаче обнаружения и определения положения объекта на изображении. В качестве входного сигнала автором была использована функция Гаусса с аддитивным, мультипликативным и аддитивно-мультипликативным шумом. На основе результатов моделирования сделан обоснованный вывод о возможности определения положения максимума изображения с минимальным СКО с помощью корреляционной функции при использовании в качестве опорного сигнала функции Гаусса, ширина которого в несколько раз больше входного сигнала. В этой главе приведены результаты экспериментального исследования трех брэгговских датчиков с помощью ПЗС-линейки подтверждающие сделанный ранее вывод.

*В четвертой главе* автором рассмотрены устройства и методы для измерения параметров оптических сигналов в динамическом режиме. Показана возможность использования режима «бегущего» электронного затвора в КМОП-сенсорах в качестве временной развертки при исследовании переходных процессов в случае, когда изменение исследуемого параметра отображается в изменение оптического излучения. В главе предложены методы и устройства для измерения температурного сдвига спектра СИД с помощью ПЗС-линейки при подаче инжекционного тока в виде последовательности импульсов нарастающей длительности и в виде ступеньки постоянного тока в начальный момент времени. Автором показана возможность использования корреляционных методов для повышения точности определения переходных тепловых характеристик СИД. В главе приведены результаты экспериментальной проверки описанных методов, показывающие возможность оценки оптических характеристик СИД в первые 30 мс после включения.

*В пятой главе* выполнен анализ температурных погрешностей многоэлементных датчиках. Рассмотрена однозвенная теплоэлектрическая модель преобразователя с дифференциально включенными датчиками. Для данной модели получено выражение для изменения разности температур датчиков при ступенчатом включении преобразователя. На основе анализа данного выражения показано, что при ступенчатом включении преобразователя с различными тепловыми постоянными времени датчиков погрешность тепловой природы может существенно превышать погрешность в стационарном режиме. Также в главе приведены результаты экспериментальной оценки температурных погрешностей для дифференциального фотоприемника. Показан мультипликативным характер погрешности, даны рекомендации по её уменьшению. Кроме того, автором представлены результаты исследований влияния саморазогрева КМОП-фотоприемника на смещение центра регистрируемого изображения. На основе полученных данных даны общие рекомендации к выполнению прецизионных измерений с использованием КМОП-сенсоров.

## **2. Актуальность темы диссертации**

Задача повышения точности измерительных приборов всегда является актуальной. В настоящее время в измерительной технике имеется тенденция к использованию многоэлементных датчиков, содержащих два и более чувствительных элемента (ЧЭ). Такие устройства, как правило, работают в



условиях помех различной приборы и нестационарных тепловых режимах. Учитывая технологические разбросы, существующие при изготовлении ЧЭ, а также неоднородность и, часто, квазистационарность условий работы приборов дифференциальное включение ЧЭ не позволяет полностью исключить влияние внешних синфазные помех и собственных шумов ЧЭ на результаты измерений. С развитием цифровых методов обработки сигналов решение данной задачи найдено в использовании корреляционных и спектральных методов обработки. Однако возможности этих методов при совместном действии аддитивных и мультипликативных шумов, а также синфазных и противофазных помех исследованы недостаточно. Поэтому диссертационная работа Беринцева А.В. является актуальной.

Кроме того, в диссертационной работе рассмотрена задача разработки и исследования предельных возможностей корреляционных и спектральных методов измерения слабых сигналов на фоне помех различной природы применительно к современным многоэлементным фотоэлектрическим датчикам, для которых задача снижения собственных шумов ЧЭ также является актуальной. При этом актуальность данной задачи подтверждается еще и тем, что технологические возможности снижения данных шумов ограничены.

### **3. Научно-технический уровень и научная ценность диссертации**

Научная ценность диссертационной работы заключается в том, что автором разработан комплект методов, базирующихся на применение корреляционных и спектральных методов обработки сигналов, которые направлены на повышение точности и помехоустойчивости измерения параметров слабых электрических сигналов многоэлементных и позиционно-чувствительных датчиков без снижения общего их быстродействия. Особое внимание в работе уделено фотоэлектрическим многоэлементным датчикам, для которых, в частности, показано, что при определении корреляционным методом положения максимума интенсивности оптического излучения по сигналам фотоприемных ПЗС- и КМОП-линеек существует оптимальная ширина опорного сигнала, при которой погрешность определения максимума интенсивности минимальна.

Научно-техническая ценность работы также заключается в том, что автором рассмотрены погрешности тепловой приборы дифференциальных преобразователей. Разработана методика измерения и исследована динамика сдвига изображения на КМОП-матрице, обусловленная саморазогревом КМОП-матрицы в процессе работы. Предложены способы и устройства для измерения переходных тепловых характеристик СИД в начале нагрева по сдвигу спектра излучения СИД.

Кроме того, в работе Беринцева А.В. впервые получены оценки погрешности тепловой приборы дифференциальных преобразователей, обусловленной нестационарным разогревом их ЧЭ.

### **4. Практическая ценность работы**

Практическая ценность работы заключается в том, что автором на примере расходомера-счетчика РС-СПА и КЧФ экспериментально показана эффективность применения БПХ к задаче измерения параметров слабых



электрических сигналов дифференциальных датчиков в условиях синфазных помех. В работе получены оценки предельных возможностей корреляционного метода по точности определения параметров сигналов пространственно-распределенных многоэлементных датчиков при действии аддитивных, мультипликативных и аддитивно-мультипликативных шумов. Кроме того, для многоэлементных измерительных преобразователей рассмотрены методы учета погрешностей, обусловленных нестационарными тепловыми режимами ЧЭ в процессе работы.

Предложенные методы и алгоритмы обработки сигналов могут быть использованы при построении средств измерения и измерительных систем на основе дифференциальных датчиков и многоэлементных фотоприемников. Практическая ценность работы подтверждена соответствующим актом использования результатов диссертационной работы в промышленности.

## **5. Оформление материалов диссертации**

Диссертация написана квалифицированно, литературно-техническим языком, снабжена достаточным количеством правильно оформленного иллюстративного материала. Представленные в диссертации данные дают полное представление о достигнутых результатах исследований.

## **6. Замечания по диссертации**

1. В выводах, сделанных в первой главе на основе анализа двухэлементных ДП и КЧФ, не ясны направления и цели дальнейших исследований, проводимых в рамках диссертационной работы.

2. Во второй главе отсутствует обоснование выбора преобразования Хартли для решения задачи повышения помехозащищенности и улучшения разрешающей способности расходомера-счетчика Р-СПА. Вместе с тем, показаны преимущества БПХ на фоне использования БПФ, однако не ясно, может ли БПХ дать какие-либо преимущества на фоне других вариантов преобразования, кроме БПФ (например, вейвлет-преобразования).

3. Не ясно, чем вызвана необходимость разработки собственных аппаратно-программных комплексов на базе МК (например, использование МК семейства STM32F100x во второй главе при исследовании КЧФ и в четвертой в экспериментальной установке для исследования спектра излучения СИД) для сбора данных в ходе проведения исследований вместо использования существующих сертифицированных систем сбора данных с известными точностными и скоростными характеристиками.

4. В работе особое внимание уделено анализу сигналов фотоэлектрических многоэлементных преобразователей, а также их использованию в измерительных системах. Как следствие все предложенные автором методы преимущественно рассмотрены применительно к данному типу преобразователей. В связи с этим не ясна возможности распространение разработанных методик на другие типы многоэлементных преобразователей, для которых чаще всего также характерна работа в условиях больших внешних шумов и нестационарных тепловых режимах.



## 7. Заключение

Диссертация Беринцева А.В. является законченной научно-исследовательской работой и может быть квалифицирована как совокупность научно обоснованных технических и технологических решений, внедрение которых позволяет повысить точность измерения параметров слабых электрических сигналов многоэлементных и позиционно-чувствительных датчиков за счет применения корреляционных и спектральных методов обработки сигналов.

Содержание и научные результаты диссертации соответствуют специальности 05.11.01 – «Приборы и методы измерения (электрические измерения)».

Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Результаты работы апробированы путем публикации основных положений в печати (23 публикаций, в т.ч. 7 работ в изданиях из перечня ВАК), обсуждения на научно-технических конференциях различного уровня и путем использования разработанных методик в ООО «ЛОМО-прибор» (г. Санкт-Петербург) для улучшения метрологических характеристик расходомера счетчика РС СПА-М (РС-П). Новизна работы подтверждена четырьмя патентами на изобретения и полезные модели.

Содержание автореферата отражает основные положения работы и главные доказательства их истинности.

Как следует из вышеизложенного, представленная работа Беринцева А.В. по актуальности, научно-техническому уровню и практическому значению выполненных исследований отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – «Приборы и методы измерения (электрические измерения)», а сам Беринцев Алексей Валентинович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

### Официальный оппонент

Инженер-программист ООО «СИГАРД»

кандидат технических наук (шифр специальности – 05.11.01)

Г.А. Емельянов

Подпись Г.А. Емельянова заверяю  
директор ООО «СИГАРД»  
(ранее ООО «Промавтоматика»)

«05» июня 2015 г.

432027, г. Ульяновск, ул. Юности д. 5А  
e-mail: g.emelyanov@gmail.com, тел.: (917) 609 66 07



А.И. Есвицкий