

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.277.04

Повестка дня:

Защита диссертации **Борисовым Русланом Андреевичем**  
на соискание ученой степени кандидата технических наук:  
**"Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей  
для систем управления высотно-скоростными параметрами  
воздушного судна"**

Специальность :

**05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».**

Официальные оппоненты:

**Михайлов Петр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела научных исследований, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза**

**Новиков Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск**

**Ведущая организация - АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»**

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.277.04.

от 18 мая 2021 года

на заседании присутствовали члены Совета:

1.	Ярушкина Н.Г., председатель Совета	д.т.н., профессор	05.13.12	- технические науки
2.	Киселев С.К. зам. председателя Совета	д.т.н., доцент	05.13.05	- технические науки
3.	Наместников А.М., ученый секретарь Совета	д.т.н., доцент	05.13.12	- технические науки
4.	Браже Р.А.	д.ф.-м.н., профессор	05.13.05	- технические науки
5.	Васильев К.К.	д.т.н., профессор	05.13.01	- технические науки
6.	Дьяков И.Ф.	д.т.н., профессор	05.13.12	- технические науки
7.	Епифанов В.В.	д.т.н., доцент	05.13.12	- технические науки
8.	Иванов О.В.	д.ф.-м.н., доцент	05.13.05	- технические науки
9.	Клячкин В.Н.	д.т.н., профессор	05.13.01	- технические науки
10.	Крашенинников В.Р.	д.т.н., профессор	05.13.01	- технические науки
11.	Курганов С.А.	д.т.н., доцент	05.13.05	- технические науки
12.	Негода В.Н.	д.т.н., доцент	05.13.12	- технические науки
13.	Самохвалов М.К.	д.ф.-м.н., профессор	05.13.05	- технические науки
14.	Сергеев В.А.	д.т.н., профессор	05.13.05	- технические науки
15.	Смирнов В.И.	д.т.н., профессор	05.13.05	- технические науки
16.	Ташлинский А.Г.	д.т.н., профессор	05.13.01	- технические науки

Председатель Совета  
д.т.н., профессор

Ученый секретарь Совета  
д.т.н., доцент



Н.Г. Ярушкина

А.М. Наместников

Председатель

**Уважаемые коллеги!**

На заседании диссертационного Совета Д212.277.04 из **23** членов Совета присутствуют **16** человек. Необходимый кворум имеем.

Членам Совета повестка дня известна. Какие будут суждения по повестке дня? Утвердить? (принято единогласно).

По специальности защищаемой диссертации **05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»** (технические науки) на заседании присутствуют 7 докторов наук.

Наше заседание правомочно.

Председатель

Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук **Борисовым Русланом Андреевичем** по теме: "Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна".

Работа выполнена в Ульяновском институте гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева

Научный руководитель – **д.т.н., доцент Антонец И.В.**

**Официальные оппоненты:**

**Михайлов Петр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела научных исследований, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза**

**Новиков Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет» г. Ульяновск**

Присутствуют оба оппонента.

Письменные согласия на оппонирование данной работы от них были своевременно получены.

Ведущая организация – **АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения».**

Слово предоставляется **Ученому секретарю** диссертационного Совета **д.т.н. А.М. Наместникову Д212.277.04** для оглашения документов из личного дела соискателя.

Ученый секретарь

Уважаемые члены диссертационного совета!

Соискателем **Борисовым Русланом Андреевичем** представлены в Совет все необходимые документы для защиты кандидатской диссертации (зачитывает):

- заявление соискателя;
- копия диплома о высшем образовании (заверенная);
- справка об обучении в аспирантуре;
- заключение по диссертации от организации, где выполнялась работа;
- отзыв научного руководителя;
- диссертация и автореферат в требуемом количестве экземпляров.

Все документы личного дела оформлены в соответствии с требованиями Положений ВАК.

Основные положения диссертации отражены **Борисовым Р.А.** в **25** научных работах, в т.ч. в **6** статьях в изданиях из перечня ВАК, получено **5** патентов на изобретения и **3** свидетельства об **официальной регистрации программ для ЭВМ**. Соискатель представлен к защите **09.03.2022 г.** (протокол №2). Объявление о защите размещено на сайте ВАК РФ **15.03.2022 г.**

Вся необходимая информация по соискателю внесена в ФИС ГНА.

Председатель

Есть ли вопросы по личному делу соискателя к ученому секретарю Совета? (Нет).

Есть ли вопросы к **Борисову Р.А.** по личному делу? (Нет).

**Руслан Андреевич,** Вам предоставляется слово для изложения основных положений Вашей диссертационной работы.

Соискатель

Здравствуйте, уважаемый Председатель совета. Здравствуйте, уважаемые члены совета и гости.

Представляю вашему вниманию результаты диссертационной работы на тему «Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна».

Актуальность работы заключается в том, что безопасное выполнение полета зависит от функциональной надежности элементов и устройств системы управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна, в частности, работы системы воздушных сигналов и его источников первичной информации.

В качестве источников первичных информации о высотно - скоростных параметрах воздушного судна используются датчики статического и полного давлений, включающие в себя первичные и вторичные измерительные преобразователи давлений.

Анализ конструктивного облика современных систем воздушных сигналов показал, что в настоящее время наибольшее распространение

получили частотные датчики давлений, или иначе, датчики давлений генераторного типа.

Подобные датчики обладают относительно высокой точностью и функциональной надежностью. Однако им присущи существенные недостатки, такие как: наличие температурных погрешностей, нелинейное искажение сигнала, «перескок частоты», большие массогабаритные параметры, технологическая сложность производства цилиндрических резонаторов – их брак достигает около 70 %.

Данные недостатки оказывают негативное влияние на работу систем воздушных сигналов и, как следствие, на безопасность полетов воздушных судов.

В связи с этим, целью данной работы является разработка и исследование новых датчиков статического и полного давлений, использующих оптоэлектронные преобразователи на основе ЛФП с улучшенными метрологическими характеристиками, сниженными массогабаритными параметрами конструкции и уменьшенным собственным потреблением мощности.

Заданная цель достигается решением следующих задач:

Разработка методики расчета УЧЭ, принципиальным отличием которой является учет технических характеристик вторичного преобразователя, в частности, порога чувствительности вторичного преобразователя, и прогиба центра мембраны как функции координаты пикселя ЛФП.

Разработка алгоритмов работы микроконтроллера, реализующего обработку сигналов с выхода ЛФП и обеспечивающего получение результатов измерений деформации упругих мембран в датчике давлений с более высокой точностью.

Создание экспериментального стенда и проведение сравнительных исследований по определению величин прогибов мембраны, полученных аналитическим методом и с использованием программного комплекса ANSYS, а также полученных в результате проведенных экспериментов.

Разработка методов и алгоритмов вычисления величины деформации УЧЭ при использовании процесса ветвления исходной информации, который осуществляется применением шторок с  $n$  щелями, позволяющим сформировать на ЛФП  $n$  оптических пятен, перемещающихся в функции измеряемого давления.

Создание экспериментальной установки для исследования метрологических характеристик датчиков статического и полного давлений на основе упругих мембран и оптоэлектронных преобразователей.

Осуществление экспериментальной проверки и оценки метрологических характеристик датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей.

Научная новизна положений, выносимых на защиту, представлена вашему вниманию на слайде и отражена в автореферате диссертации.

Анализ конструктивного облика современных датчиков давлений показал, что в настоящее время классические методы преобразования первичной и вторичной информации достигли пика своего совершенства. В связи с этим, в работе предлагается новый конструктивный облик датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей.

Датчик состоит из корпуса и двух отверстий для подвода статического и полного давления, ниже и выше которых установлены мембраны, образуя безвоздушный зазор. К геометрическим центрам

мембран прикреплены линейки фотоэлектронных приёмников, а противоположно им шторки с прорезью, через которые от источника излучения на поверхности линейки формируется оптическое пятно. При изменении давлений, деформируется геометрический центр мембраны со шторкой, и оптическое пятно смещается по поверхности линейки фотоэлектронных приёмников. Соответственно, изменение сигнала на выходе линейки фотоэлектронных приемников пропорционально изменению давления.

Высокая чувствительность фотоэлектронных приемников позволяет свести к минимуму деформацию упругого чувствительного элемента и тем самым минимизировать упругие последствия и гистерезисные явления.

Установлено, что в настоящее время отсутствует методика расчета точностных характеристик датчиков давлений, учитывающая геометрические размеры упругого чувствительного элемента, функциональные возможности вторичного преобразователя и закономерность изменения измеряемых давлений.

Предлагается подобная методика расчета, за основу которой принята методика приближенного статического расчета упругих чувствительных элементов, предложенной Андреевой Л. Е. (1). Прогиб мембраны выражается через порог чувствительности  $S$  (2) и шаг измерения. Применяв гипсометрическую формулу для расчета барометрической высоты (5), получили выражение для расчета высоты (6) и дискретности измерения при заданном пороге чувствительность (7) на  $i$ -ем шаге измерения.

Аналогичным образом осуществляется расчет скорости полета воздушного судна.

На основе предлагаемой методики разработан алгоритм и программа на языке программирования C++.

Графический интерфейс позволяет осуществлять выбор материала упругого чувствительного элемента, ввод его геометрических размеров, ввод порога чувствительности и выбор расчетной схемы, статическое или полное давление.

Кроме того, графический интерфейс позволяет осуществлять графическую доводку характеристики упругого элемента и вывод результата расчетов в виде таблицы.

Важным этапом при расчете упругого чувствительного элемента является определение максимальных эквивалентных напряжений и коэффициента запаса прочности.

Для этого в работе использован программный комплекс ANSYS.

В результате решения задач методом конечно-элементного моделирования получен отклик программы виде полей деформации, эквивалентных напряжений и коэффициентов запаса прочности.

Результаты математического моделирования упругих чувствительных элементов представлены на слайде.

В таблице 1 представлены дискретности измерений высоты полета для различных диапазонов высот. В таблице 2 – дискретности измерения скорости полета воздушного судна для различных диапазонов скоростей. А в таблице 3 – величины максимальных эквивалентных напряжений и коэффициенты запаса прочности, разрабатываемых упругих чувствительных элементов.

Для проведения экспериментальных исследований разработан аппаратно-программный комплекс. Структурная схема комплекса представлена на рисунке 1 и включает в себя: датчик давления на

основе ЛФП, пневмосистему, пьезоэлектрический датчик давления, микрометр и блок управления и обработки данных.

На рисунке 12 представлено фото аппаратных компонентов комплекса.

На рисунке 13 представлен 3D-сборочный макет датчика давлений на основе ЛФП.

На рисунке 14 представлена схема взаимодействия программной части аппаратно-программного комплекса, включающая: программное обеспечение для ПК LabVIEW, драйвер USB-UART преобразователя, программное обеспечение микроконтроллеров STM32 и ATmega.

Управление и обработка сигналов оптоэлектронного преобразователя на основе ЛФП осуществляется микроконтроллером STM32. Принцип реализации его программного обеспечения представлен на рисунке 15.

При исследованиях в качестве вторичного измерительного преобразователя давлений использовалась линейка фотоэлектронных приемников типа ILX554B.

Из схемы видно, что каждому импульсу CLK соответствует поступление на выход ЛФП сигнала с одного пикселя. Таким образом, получаем, что для опроса пикселей линейки необходимо, чтобы между двумя импульсами ROG было не менее 2087 импульсов CLK с учетом рабочих и технических пикселей.

На рисунке 17 представлены формы выходных сигналов ЛФП при воздействии оптических пятен на фоточувствительную поверхность линейки.

Предложены способы измерений давления с использованием оптического метода.

Первый способ состоит в следующем: вначале определяются номера пикселей  $N_{max}$ , амплитуда сигнала с которых соответствует локальным максимумам в пределах световых пятен. Затем выделяется область из пикселей до и пикселей после максимума. И для данной области вычисляются координаты максимума сигнала (11).

Вычисление по формуле (11) новых значений координат световых пятен позволяет определить изменение давления (12) по величине смещения мембраны относительно исходного значения.

Для повышения точности измерения смещения мембраны предлагается усреднять результаты измерения изменения давления, полученные для всех  $n$  пятен (13).

Второй способ отличается тем, что для выделения области оптического пятна используется среднее значение от номеров пикселей, амплитуда напряжения в которых близка или равна к заданному по фронту сигналу и, аналогично, на спаде сигнала.

Для реализации измерений разработан алгоритм управления и обработки данных линейки фотоэлектронных приемников с использованием в качестве генератора синхроимпульсов внешние прерывания АЦП.

Подобная схема управления и обработки данных позволяет получать два значения амплитуды напряжения с одного пикселя.

Следующий алгоритм отличается тем, что при его реализации используется прерывание по заполнению половины буфера контроллера прямого доступа к памяти. Данный алгоритм позволяет осуществлять измерения с использованием двух оптических пятен, при этом процесс математической обработки данных начинается до завершения полного цикла опроса.

Для автоматизации процесса исследований, изменения условий эксперимента и визуализации экспериментальных данных, разработана программа на языке программирования G в среде Labview.

В процессе эксперимента, установлено влияние характеристик источника оптического излучения на форму выходного сигнала ЛФП, в частности, интенсивности светового потока при различных значениях потребляемого тока I.

Из рисунков видно, что с увеличением потребляемого тока светодиода происходит искажение оптического пятна, которое происходит в результате растекания избыточных зарядов от освещенных областей ПЗС-линейки

Подобное явление называется «блюмингом».

Для каждой модели фотоэлектронных приемников и источников оптического излучения значения интенсивности светового потока, при которых возникает подобный эффект различны, поэтому при разработке необходимо обеспечить допустимый его предел.

Установлено влияние режима работы ЛФП на форму выходного сигнала, в частности, использование электронного затвора способствует увеличению шумов, проявляющиеся как низкочастотные колебания напряжения, что в значительной степени усложняет процесс измерений

Установлено влияние методики вычисления координаты, в которой сигнал достигает максимума, на значение точности.

На рисунке представлен результат определения локального максимума  $N_{max\_n}$ , и центра оптического пятна  $N_{aver\_n}$ .

Из рисунка видно, что центр оптического пятна 1 более стабилен, чем локальный максимум 2, что обеспечивает более точное его измерение.

Определена точность измерения положения геометрического центра мембраны.

Прогиб мембраны  $\omega_0$  вычисляется с использованием центроид метода, выражение 16.  $K_x$  – коэффициент, значение которого зависит от геометрических размеров пикселей ЛФП и их взаимного расположения в линейке.

Значение коэффициента  $k_x$  установлено экспериментально, путем многократных измерений положения жесткого центра мембраны с использованием микрометра и усреднения результатов измерений.

В качестве выборки при обработке результатов эксперимента принимались значения величин деформации жесткого центра мембраны  $\omega_0$ .

За измеренное значение  $x$  принимался сигнал, переданный через интерфейс USART на ПК.

Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены на гистограммах 1 и 2.

Приведенная погрешность измерения положения геометрического центра при частоте измерений 50 Гц составляет не более 0,008% по отношению к максимальному прогибу УЧЭ.

Определена точность измерений давления и эквивалентной высоты с применением упругого элемента с заданными параметрами. Результаты представлены в таблице 5.

Давление определялось в соответствии с выражением 17.

Коэффициент  $k_p$  в составе выражения 17 определялся экспериментально. Где  $P_p(t)$  – значение давления, полученное от пьезоэлектрического датчика давлений из состава комплекса.



Очевидно, ввиду нелинейной зависимости прогиба жесткого центра мембраны от давления, значение коэффициента  $k_p$  в каждый момент времени  $t$  имеет различные значения.

Установлена зависимость смещения максимума светового пятна от значений давлений, полученных от пьезоэлектрического датчика.

Применив методику кусочно-линейной интерполяции, получили интерполирующую функцию.

Результаты статистической обработки данных представлены на гистограммах слайда.

Разработан макет трехмерного цифрового прототипа датчика давлений на основе линеек фотозлектронных приемников с использованием программного комплекса Solidworks и выполнена оценка его массовых характеристик.

Кроме того, определена мощность, потребляемая датчиком, и дана сравнительная оценка характеристик разрабатываемых датчиков с серийно выпускаемыми датчиками.

Установлено, что интервал передачи данных уменьшен на 19%, снижено питающее напряжение на 78%, снижено электропотребление на 72%, уменьшена погрешность измерения на 59%, сокращено время готовности на 96%, а масса датчика снижена на 46.75%.

На основе проведенных исследований предложены направления для дальнейших исследований в виде новых конструктивных схем датчиков на основе оптоэлектронных преобразователей.

В частности, датчик давления на основе оптического метода преобразования информации с двухступенчатым упругим элементом.

Датчик статического и полного давлений с магнитным усилителем деформации упругого чувствительного элемента.

Датчик статического и полного давлений на основе оптического метода преобразования информации с  $n$  количеством оптических пятен.

Датчик статического и полного давлений на основе оптического метода преобразования информации с криволинейным зеркальным усилителем деформации.

Основные результаты диссертационной работы представлены в автореферате диссертации и на слайдах 30 и 31.

Председатель

У кого есть вопросы к соискателю?

Д.ф.-м.н., доцент Иванов О.В.

У Вас используются оптические пятна, сформированные через прорезы в шторке. Какие оптимальные размеры должны быть этих отверстий, чтобы обеспечивалась максимальная чувствительность?

Соискатель

Спасибо за проявленный интерес. Интересный вопрос. По этому вопросу могу пояснить следующее. В процессе эксперимента использовались четыре отверстия от 0,01 до 1 мм. Минимальный размер оптического пятна охватывал около 20 пикселей. Установлено, что размер отверстия не имеет значение, важно, чтобы оптическое пятно, сформированное через прорезь, было устойчивым.

Д.ф.-м.н., доцент Иванов О.В.

Чем меньше оптическое пятно, тем лучше?

Соискатель

Нет, размер оптического пятна не имеет значения. Важно чтобы оптическое пятно было устойчивым. И даже если размер пятна каким-то образом изменился в процессе измерений, а центр тяжести остался прежним, это никаким образом не сказывается на точности измерений.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Откройте, пожалуйста, 10 слайд. В таблице 3, величина прогиба мембраны указана до сотых долей микрометра. Как это возможно? Откуда такая точность? Вашими датчиками с такой точностью не измерить.

Соискатель

Спасибо. Очень интересный вопрос.  
Вы имеете в виду эксперименты?

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Нет, у Вас в данном случае результаты решения методом конечно-элементного моделирования. Это моделирование. Вы получили какие-то результаты, но корректность их проследить сложно. И почему в разных строчках таблицы точность разная? Где-то указаны сотые, где-то десятитысячные миллиметра. Хотя абсолютные величины у вас одного порядка. Например, 1.58 и 1.364.

Соискатель

Вы имеете в виду дискретности измерений?

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Таблица 3.

Соискатель

В таблице 3 в первом столбце указан максимальный прогиб мембраны.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Почему они разные? С увеличением прогиба точность измерения увеличивается?

Соискатель

Во-первых, на величину прогиба мембраны влияют толщина мембраны, радиус мембраны и геометрический профиль. Профили могут быть синусоидальные, пильчатые и т.п.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Значения максимальных прогибов мембран получены в одних и тех же условиях?

Соискатель

Нет, это разные условия.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Т.е. разные мембраны, разные условия?

Соискатель

Да.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

А для чего эта таблица тогда служит и что иллюстрирует?

Соискатель

Мы, прежде всего, хотели показать результаты расчетов значений величин эквивалентных напряжений и коэффициентов запаса прочности. Именно эти параметры характеризуют прочность упругого чувствительного элемента.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

И все-таки, возвращаясь к началу вопроса, откуда такая точность? Вот у Вас 4.7407 мм, до 10 долей микрона. Как это можно отследить?

Соискатель

Это результат решения программы. Она дает такой результат.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Не важно, какой результат получен программой, необходимо учитывать аппаратные погрешности, учитывать погрешности методов расчетов. А если бы она больше знаков давала вы бы их все учитывали?

Соискатель

Я понял свою ошибку.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Как-то нехорошо получается. И еще один вопрос. Слайд 21. На слайде представлен график. Что отложено по оси абсцисс?

Соискатель

По оси абсцисс отложены координаты максимума светового пятна.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

В каких единицах?

Соискатель

Это смещение оптического пятна на количество пикселей вдоль оптической линейки.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Т.е. это количество пикселей?

Соискатель

Да.

Д.ф.-м.н., профессор Браже Р.А.

Ну, в таком случае нужно было обозначить и указать. Ясно. Хорошо.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

Второй слайд, пожалуйста. Вот вы позиционируете ваш датчик как элемент системы управления. Это соответствует этой специальности. Это система автоматического управления? Чем управляет эта система?

Соискатель

Воздушным судном.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

Воздушным судном? Так не бывает. Можно управлять высотой полета, скоростью.

Соискатель

Принцип управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна может быть реализован в первом случае, когда летчик в ручном режиме воздействует на органы управления, для поддержания требуемых значений высотно-скоростных параметров, считывая показания приборов.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

И все-таки это тогда автоматизированная система, а не автоматическая? Это просто летчику выводятся данные с этой системы? Или это система автоматического управления?

Соискатель

Можно мне закончить ответ?

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

Да, пожалуйста.

Соискатель

Летчик в первом варианте управления воздушным судном, в ручном режиме воздействует на органы управления, для поддержания требуемых значений высотно-скоростных параметров считывая показания приборов.

Второй режим полуавтоматический, это режим, когда управление воздушным судном осуществляется и пилотом, и системой автоматического управления.

И третий режим автоматический без участия пилота. Так, например, на вертолетах имеется пилотажный комплекс вертолета, позволяющий осуществлять выбор режима пилотирования вертолета.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

По каким параметрам осуществляется управление? Высота?

Соискатель

Высота, скорость, вертикальная скорость.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

Но ведь, кроме этих датчиков еще есть множество приборов, например, ДИСС – доплеровский измеритель скорости и сноса. А получается, что в этой системе только Ваши датчики. А остальные где?

Соискатель

Мы рассматриваем контур управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна. Приборная скорость, высота полета и вертикальная скорость оцениваются по аэрметрическим приборам, которые входят в состав системы воздушных сигналов, которая выдает эти параметры для системы управления и для индикации экипажу.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

Ясно. Спасибо.

А теперь давайте откроем 20 слайд. Вот у Вас получается так, когда одно оптическое пятно у вас возникает погрешности абсолютная и среднеквадратическая. А когда два пятна, по моим представлениям, дисперсия, абсолютная погрешность должны уменьшиться в два раза, а СКО в квадратный корень из двух. А у Вас, почему-то, снижается более чем в два раза. Вот посмотрите, например, в последнем случае 0,034 и 0,082. Получается больше, чем в два раза. За счет чего? Почему у Вас так повышается точность при наличии двух пятен?

Соискатель

Спасибо за вопрос. Интересный вопрос. По данному вопросу могу пояснить следующее. При определении координаты положения оптического пятна регистрируются значения номеров пикселей, которым соответствует заданное или близкое к заданному значение амплитуды напряжения. При

использовании двух оптических пятен учитывается изменение амплитуды всех четырех пикселей, и, если изменения произошли только на одном пикселе, то сохраняются предыдущие значения номеров пикселей и тем самым исключаются случайные отклонения. Это достигается применением разработанных алгоритмов работы микроконтроллера.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

У Вас то же самое значение, без усреднения и с двукратным усреднением. Не должно быть таких уменьшений погрешностей, по моим представлениям. Даже если они независимые наблюдения, не должно быть такого уменьшения погрешностей. А наверняка они зависимые. Например, имеется вибрация, которая будет воздействовать на положения обоих оптических пятен. Они будут коррелированы. Выигрыш будет, конечно, но мне кажется не такой большой.

И еще, последний вопрос у меня. В автореферате в методах исследования Вы пишете: «при выполнении работы использовались логические и эмпирические методы математического исследования». Что такое методы логические и эмпирические методы исследования?

Соискатель

Затрудняюсь ответить на данный вопрос.

Председатель

Признается в неудачной формулировке.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

Будем считать, что неудачная формулировка. Я закончил.

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

На четвертом слайде пункт 4. В 4 пункте указано «функции измеряемого давления». Что вы имели в виду?

Соискатель

Разработка методов и алгоритмов вычисления величины деформации УЧЭ при использовании процесса ветвления исходной информации, который осуществляется применением шторок с  $n$  щелями, позволяющим сформировать на ЛФП  $n$  оптических пятен, перемещающихся в функции измеряемого давления. В данном контексте имеется в виду, что оптическое пятно перемещается по фоточувствительной поверхности линейки в функции измеряемого давления. При этом, с учетом того, что градиент давлений по высоте имеет различные значения и смещение оптического пятна не линейно по высоте.

Д.т.н. профессор Ташлинский А.Г.

Какие характеристики оптического пятна Вы учитываете?

Соискатель

Центр тяжести оптического пятна.

Д.т.н. профессор Ташлинский А.Г.

Форма оптического пятна меняется при перемещении?

Соискатель

Нет, форма оптического пятна не меняется.

Д.т.н. профессор Ташлинский А.Г.

При демонстрации экспериментальных данных Вами были озвучены выявленные недостатки, но не было сказано, как их устранить. Или те изобретения в виде конструктивных схем датчиков, которые были продемонстрированы в конце работы, решают этот вопрос?

Соискатель

На основании проведенных исследований нами были разработаны датчики давлений, которые позволяют решить выявленные проблемы.

В частности, изобретение, датчик давления, использующий п количество пятен позволяет повысить точность измерений. Это доказано экспериментальными исследованиями.

Для того, чтобы минимизировать упругие последствия и гистерезисные явления необходимо свети к минимуму деформацию упругого чувствительного элемента. Для этих целей в работе предлагаются изобретения в виде конструктивных схем датчиков давлений, использующих криволинейные зеркальные усилители деформаций и магнитные усилители деформации. Кроме того, при разработке подобных датчиков необходимо учитывать наличие эффекта «Блюминг» и принимать схемотехнические решения для его предотвращения.

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

Т.е. по выявленным недостаткам есть предложения по их устранению?

Соискатель

Да, в диссертационной работе отражены рекомендации по разработке и проектированию датчиков давлений на основе линеек фотоэлектронных приемников.

Д.т.н. профессор Ташлинский А.Г.

Хорошо. Спасибо.

Д.т.н. доцент Епифанов В.В.

Покажите, пожалуйста, 7 слайд. Вами предложена методика расчета упругих чувствительных элементов. Какие параметры рассчитываются по вашей методике?

Соискатель

В основе разработанной нами методики расчета упругого чувствительного элемента, лежит методика приближенного статического

расчета, предложенная Андреевой. Данная методика признана одной из самых эффективных. В ней учитывается толщина мембраны, радиус мембраны, модуль упругости и коэффициенты, значения которых зависят от геометрического профиля и размеров мембраны. Данное выражение позволяет определить значение давления при заданном прогибе мембраны.

Нами предложено выразить прогиб мембраны через порог чувствительности вторичного преобразователя и шаг измерения и, используя гипсометрическую формулу для расчета высоты, получены выражения для расчета высоты и дискретности измерения высоты при заданном пороге чувствительности и заданном шаге измерения.

Предлагаемая методика позволяет производить точностных характеристик датчика давлений на первоначальном этапе проектирования.

Д.т.н., доцент Епифанов В.В.

Методика определяет последовательность действий, прежде всего. Где это у Вас?

Соискатель

Обобщенная методика представлена в диссертации.

Д.т.н., доцент Епифанов В.В.

Еще один вопрос. Как Вы считаете, название Вашей диссертации отвечает сути вашей работы?

Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей известны. Системы управления с текущими параметрами – работают. Название диссертации охватывает огромную область. Суть работы название диссертации не отражает, что вами сделано.

Может быть, лучше было бы сформулировать «Совершенствование датчиков»?

Соискатель

Отвечая на первую часть вашего вопроса, хочется выделить, что датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей предложены нами впервые. Их новизна подтверждена пятью патентами на изобретения.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Откройте, пожалуйста, 22 слайд. На слайде представлена оценка погрешностей при измерении давления и высоты. Как вы задавали давление с такой точностью?

Соискатель

При проведении эксперимента с использованием аппаратно-программного комплекса устанавливалось давление внутри датчика эквивалентное заданной высоте.



Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Это результаты математического моделирования или натурный эксперимент.

Соискатель

Это результаты натурального эксперимента. Эксперимент проводился при стандартных атмосферных условиях. Эквивалентное давление для заданной высоты создавалось пневматической системой по показаниям пьезоэлектрического датчика давлений.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Какова погрешность задания текущего давления? Какую погрешность имеет ваш пьезоэлектрический датчик давления?

Соискатель

Погрешность пьезоэлектрического датчика 0,01 %.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Хорошо. Далее. Чем ограничивается рабочий диапазон давлений по верхней границе? Т.е. какое максимальное давление Ваш датчик может измерить?

Соискатель

Рабочий диапазон давлений будет определяться упругим чувствительным элементом.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Минуточку. А размерами линейки фотоэлектронных приемников разве не будет определяться? Если будет ограниченный размер линейки, то и диапазон хода упругого элемента тоже будет ограничен.

Соискатель

Я полностью с Вами согласен. Размер линейки тоже будет определяющим. И при проектировании необходимо учитывать и характеристики упругого чувствительного элемента, и размер линейки фотоэлектронных приемников.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Но все же, какой динамический диапазон давлений и чем он определяется в Вашем случае?

Соискатель

Диапазон рабочих давлений нами установлен в соответствии с требованиями норм летной годности. Датчики давлений, в соответствии с требованиями, должны обеспечивать измерение высоты от минус 500 метров, чему соответствует максимальное давление 107438 паскаль.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Исходя из этих условий, Вы и выбрали размеры упругого элемента и линейки фотоэлектронных приемников?

Соискатель

Да.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

И последний вопрос. Ваши линейки фотоэлектронных приемников крепятся к геометрическому центру мембраны на шторке с прорезью.

В вашем случае, линейка фотоэлектронных приемников закреплена к геометрическим центрам мембран на шторках с прорезью. Очевидно, что при воздействии внешних условий будут возникать колебания данной конструкции. Вы учитывали это?

Соискатель

Спасибо. Интересный вопрос. Исследования на динамическую устойчивость выходят за рамки данной работы, и нами не проводились. Данные исследования будут предоставлены нами в следующих работах.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Спасибо. И еще один вопрос. Чем определяется быстродействие измерительной системы?

Соискатель

Быстродействие определяется требованиями к датчикам давлений входящим в состав систем воздушных сигналов. Частота измерений 50 Гц считается достаточной. Данная частота получена при четырехкратном усреднении выборок. Максимальная частота измерений, полученная нами, достигает 400 Гц, за счет использования двух оптических пятен, при этом процесс обработки первого оптического пятна начинался до завершения полного цикла опроса. Но с увеличением частоты измерений снижается точность измерений.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Хорошо. Спасибо.

Д.т.н., профессор Дьяков И.Ф.

Восьмой слайд откройте, пожалуйста. Что у Вас отображено на рисунке 4 в верхнем левом углу.

Соискатель

На данном фрагменте рисунка отображен текущий геометрический профиль мембраны и его геометрические размеры.

Д.т.н., профессор Дьяков И.Ф.

Как вы оценивали, какое количество циклов нагружения и разоружения выдержит Ваша мембрана?

Соискатель

Прочность и долговечность упругого чувствительного элемента характеризуется коэффициентом запаса прочности. Чем выше коэффициент запаса прочности, тем надежнее мембрана. Поэтому при проектировании, размеры мембраны и геометрический профиль устанавливаются таким образом, чтобы обеспечивались высокие значения коэффициентов запаса прочности.

Д.т.н., профессор Дьяков И.Ф.

Влияет ли влажность на точность измерений давлений?

Соискатель

Влияние влажности на точность измерений пренебрежимо мало.

Д.т.н., доцент Киселев С.К.

Руслан Андреевич, прокомментируйте, пожалуйста, 3 и 4 положения, выносимые на защиту. В 3 и 4 пункте Вы защищаете алгоритмы работы микроконтроллера. Микроконтроллер не является типовым устройством. Почему вы просто не пишете «Алгоритм измерения»? Как из этих положений выделить какие-то требования к микроконтроллеру? Какой минимальный состав должен быть у микроконтроллера?

Соискатель

Спасибо за вопрос. Интересный вопрос. В диссертационной работе представлен достаточно большой перечень алгоритмов работы микроконтроллеров. Представленные алгоритмы описывают, какие компоненты микроконтроллера используются. Например, один из алгоритмов обеспечивает измерение линейных перемещений упругого чувствительного элемента без использования АЦП. Анализ существующих алгоритмов, реализуемых при работе с линейками фотоэлектронных приемников в качестве измерительных преобразователей, показал, что подобных алгоритмов еще не существует.

А алгоритмы согласно п.п. 3 и 4 положений, выносимых на защиту, позволяют осуществить жесткую привязку к координатам пикселей, за счет использования прерываний АЦП, и увеличить быстродействие измерительной системы, используя прерывания контроллера ПДП по заполнению половины буфера.

Д.т.н., доцент Киселев С.К.

На самом деле можно собрать схему, реализующую ваши измерения без микроконтроллера.

Соискатель

На самом деле, да.

Д.т.н., доцент Киселев С.К.

На самом деле, применив формулировку «Алгоритм работы микроконтроллера», Вы сузили область применения Ваших научных положений. Научные положения тем и характеризуются, что охватывают достаточно большую область применения. Спасибо.

Д.т.н., профессор Клячкин В.Н.

Девятый слайд, пожалуйста. Что у Вас продемонстрировано на рисунках.

Соискатель

На слайде представлены результаты решения задач методом конечно-элементного моделирования. Заданы граничные условия: мембрана жёстко закреплена по краю мембраны, а сверху действует равномерно распределенное давление. В результате решения программы получен отклик программы в виде полей деформации, полей эквивалентных напряжений и коэффициентов запаса прочности.

Д.т.н., профессор Клячкин В.Н.

Вы указали, что решение упруго-пластичных задач. Вы решали пластичные задачи?

Соискатель

Мы оценивали только работу упругого чувствительного элемента в пределах пропорциональности.

Д.т.н., профессор Клячкин В.Н.

На 10 слайде у Вас разные значения максимальных эквивалентных напряжений. С чем это связано?

Соискатель

При проведении численного моделирования использовались разные материалы и разные геометрические размеры упругих чувствительных элементов.

Д.т.н., профессор Курганов С.А.

У Вас в автореферате указано «Законы магнитного притяжения». Что Вы имеете в виду под этой формулировкой?

Соискатель

В контексте наших формулировок мы имели в виду способность магнитов и ферромагнитов притягиваться друг к другу.

Д.т.н., профессор Курганов С.А.

Что такое ферромагнит, тогда?

Соискатель

Ферромагниты это материалы, в частности сталь, которые притягиваются к магнитам.

Председатель

Есть еще вопросы? (Нет).

**Согласны ли члены Совета сделать технический перерыв?** (Нет).  
Тогда продолжаем работу.

Слово предоставляется научному руководителю работы **д.т.н. Антонцу И.В.**

Д.т.н., доцент Антонце И.В.

Уважаемый председатель, уважаемые члены диссертационного совета, я, прежде всего, хочу поблагодарить вас за такую оживленную дискуссию. На основании этого я могу сделать вывод, что работа заинтересовала, затронула вас.

Хочется сказать несколько слов о соискателе Руслане Андреевиче.

Большая часть его сознательной жизни связана с авиацией. Летал на вертолетах в качестве бортового инженера. После окончания военного училища продолжил службу в военном летном училище. Закончил аспирантуру Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева.

С момента начала нашей совместной работы над решением проблем датчиков давлений, которые входят в состав систем воздушных сигналов предназначенной для формирования высотно-скоростных параметров, он достаточно полно поднял и развил эту тему.

Сказать, что существуют датчики на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами – это неправильно. Таких датчиков нет.

Это подтверждается патентами на изобретения. Это подтверждается нашими публикациями и выступлениями на конференциях.

Руслан самостоятельно разработал теоретические аспекты разработки предлагаемых датчиков и своими руками разработал экспериментальный стенд. Он видимо волновался и не сказал об этом. Работа длилась на протяжении около шести лет.

Стоит отметить, что ведущая организация АО УКБП, являющаяся ведущей организацией в нашей стране, разрабатывающей частотные датчики давлений для систем воздушных сигналов, оценила полученные результаты и дала положительный отзыв.

И еще одна организация МИДАУС, которая осуществляет разработку датчиков давлений, дала положительный отзыв. Что подтверждает актуальность темы и возможность практической реализации.

Руслан по настоящее время продолжает работать по данной тематике и уже на более высоком уровне.

Понятно, что еще много вопросов нужно проработать.

На данный момент снижен прогиб мембраны до 1 мм, и планируем снизить до 0.01 мм.

Мы благодарны за сделанные замечания.

Многое еще предстоит сделать на следующем этапе.

Мы перед собой ставим амбициозные задачи.

(Отзыв прилагается).

Председатель

**Ученому секретарю Совета** предоставляется слово для оглашения заключения организации, где выполнялась работа и отзыва ведущей организации.

**Ученый секретарь** оглашает заключение организации, где выполнялась работа. Затем зачитывает отзыв ведущей организации.

(Заключение и отзыв прилагаются).

Председатель

На автореферат диссертации поступило 9 отзывов, все они положительные. Согласны ли члены Совета заслушать обзор отзывов или зачитать их полный текст? (Согласны)

Слово для обзора отзывов, поступивших на диссертацию, предоставляется **Ученому секретарю Совета**.

**Ученый секретарь зачитывает обзор отзывов.**

(Отзывы прилагаются).

**1. ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань.** Отзыв подписан доцентом кафедры автоматики и управления, к.т.н., доцентом Кривошеевым С.В.

Замечания: из автореферата не следует, проводился ли анализ точностных характеристик датчиков давления в динамике при изменении высоты полета с различными вертикальными скоростями. В автореферате подробно представлено построение первичных преобразователей и алгоритмы работы вторичных преобразователей, но не указана разрядность кода выходного сигнала, которая будет определять погрешность формирования измеряемой величины. В автореферате не по ГОСТу указаны номера рисунков и ссылки на них в тексте. А также на рисунках 8-10 не очень понятно изображены шторки и прорези.

**2. Институт авиационного приборостроения «Навигатор» (АО «Навигатор»), г. Санкт-Петербург.** Отзыв подписан начальником научно-исследовательского сектора, д.т.н., Саутой О.И.

Замечания: не ясно, что представляют собой исследуемые в работе «линейки фотоэлектронных приемников» и каковы их технические характеристики. Не ясно, в чем заключалось «...обоснование выбора методики статистического расчета гофрированных мембран», указанное на стр.9. Нет расшифровки обозначений: "h" в формуле (1), "с" в формуле (7), а также аббревиатур SLK и ROG на стр. 11. На стр.7 предлагается способ обработки с использованием «центроид метода», реализуемого на основе формулы (12), а затем «для повышения точности» предлагается

«усреднять результаты» по формуле (14). Это может привести к потере точности измерений при некоторых распределениях ошибок измерений. Не ясен смысл требования: «необходимо обеспечить допустимый его предел» при описании эффекта «блюминга», иллюстрируемого на рис.5. При описании устойчивости разрабатываемых датчиков к воздействию возмущающих факторов (стр. 16), не приводятся конкретные диапазоны (температур, вибрации, давления и др.), в которых предложенные датчики будут эффективны (работоспособны).

**3. филиал ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)» Министерства обороны Российской Федерации в г. Сызрани.** Отзыв подписан начальником 5 кафедры авиационного радиоэлектронного оборудования, к.т.н., Алексеевым Э.О.

Замечания: отсутствуют в автореферате расшифровки англоязычных аббревиатур CLK и ROG.

**4. ООО «Научно-исследовательский центр Радиотехники» (ООО «НИЦ РАДИОТЕХНИКИ»), г. Санкт-Петербург.** Отзыв подписан начальником конструкторского бюро «Радиотехника», к.т.н., Рудем В.В.

Замечания: в основной части описания работы нет упоминания о методологии разработки датчиков давлений, хотя в списке трудов ключевая статья опубликована как «Методология разработки датчика статического и полного давлений на базе упругих чувствительных элементов и оптических линеек» (Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение). Не раскрыты некоторые термины и основные определения по теме исследования.

**5. Ульяновский филиал ФБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (УФирЭ им. В.А. Котельникова РАН), г. Ульяновск.** Отзыв подписан заместителем директора по научной работе, к.т.н., доцентом Черторийским А.А. и старшим научным сотрудником, к.т.н., Низаметдиновым А.М.

Замечания: в работе не проведено сравнение метрологических характеристик разрабатываемого датчика давления, использующего оптический способ съема информации о деформации мембраны, с датчиками, использующими для этих же целей другие способы, например, с помощью тензорезисторов. В автореферате не описана методика испытаний разработанного датчика, а также не совсем понятно, какая из конструкций датчиков, предложенных в диссертации, проходила испытания.

**6. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург.** Отзыв подписан заместителем заведующего кафедрой АПУ по научной работе, к.т.н., доцентом Каплуном Д.И.

Замечания: не очень хорошее качество рисунка 7.

**7. Общество с ограниченной ответственностью МИДАУС (Микроэлектронные Датчики и Устройства), г. Ульяновск.** Отзыв подписан ведущим научным сотрудником, к.ф.-м.н., Пироговым А.В.

Замечания: в работе заявлено решение упруго-пластической задачи, однако, судя по автореферату, приведенные данные свидетельствуют о выполнении расчета для идеально упругого материала с учетом геометрической нелинейности. Задание

пластических характеристик материала позволило бы оценить гистерезисные характеристики проектируемого датчика. Не произведена оценка влияния статистических характеристик шума, вызывающего размытие светового пятна, на точность измерения. Асимметричная плотность вероятности должна приводить к появлению систематической погрешности.

**8. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург.** Отзыв подписан профессором кафедры вычислительной техники, к.т.н., доцентом Сафьянниковым Н.М.

Замечания: из автореферата следует, что повышение быстродействия измерительной системы связано с использованием прерываний контроллера ПДП по заполнению половины буфера, возможен ли эффект от других соотношений заполнения буфера (например, на четверть)? Какие криволинейные отражатели оптических излучений используются в датчиках давлений на рис.11?

**9. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации», г. Санкт-Петербург.** Отзыв подписан доцентом кафедры № 24 «Авиационная техника и диагностика», к.т.н., доцентом Иванов Д. А.

Замечания: из автореферата не вполне ясно, были ли получены по итогам проведённых автором исследований патенты на изобретение, подтверждающие их новизну, также из автореферата не очевидно, проводился ли расчёт экономического эффекта от внедрения результатов исследований.

Председатель

Слово для ответа на замечания по заключению и отзывам предоставляется соискателю.

Соискатель

С полученными отзывами на автореферат и диссертацию, согласен.

Председатель

Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту – **д.т.н. Михайлову Петру Григорьевичу.**

Д.т.н. профессор Михайлов Петр Григорьевич

Здравствуйтесь, коллеги!

С вашего позволения я не буду зачитывать содержание глав, а изложу только суть.

Безопасное и эффективное выполнение полетов на воздушных судах неразрывно связано с достоверностью информации о барометрической высоте, вертикальной скорости и приборной скорости полета. Источниками первичной информации для вышеуказанных параметров являются датчики статического и полного давлений. Датчики давлений во многом определяют метрологические и технические характеристики современных систем управления высотно-скоростными параметрами ВС, такие как точность, диапазон



измерения, надежность, долговечность, габаритные размеры, качество выходной информации системы и удобство обслуживания при эксплуатации. Совершенствование их метрологических характеристик осуществляется за счет повышения чувствительности, уменьшения нелинейности, гистерезиса и снижения влияния дестабилизирующих факторов.

Поэтому тема диссертационной работы Борисова Р.А., посвященная разработке и исследованию датчиков давлений, основанных на использовании оптоэлектронных преобразователей и обладающих улучшенными метрологическими характеристиками, является весьма актуальной.

Научная ценность работы заключается в том, что:

- впервые получены и обоснованы рекомендации для построения конструктивных схем датчиков давлений на базе оптоэлектронных преобразователей, которые отличаются наличием высокочувствительного вторичного преобразователя и упругой мембраны, деформация которой сведена к минимуму,

- предложены новые алгоритмы работы микроконтроллера, которые обеспечивают, при измерении линейных перемещений жестких центров мембран, обработку сигналов с выхода ЛФП при воздействии на него одного или нескольких световых пятен, что обеспечивает более высокую точность измерений перемещения жесткого центра мембраны, а также повышение быстродействия измерительной системы,

- впервые разработаны математические модели взаимосвязей порога чувствительности вторичного преобразователя с процедурами обработки информационных данных, получаемых при деформации УЧЭ, вызванных изменением статического и полного давлений и отличающиеся тем, что в них учитывается шаг дискретизации вторичного преобразователя.

Практическая значимость диссертационной работы Борисова Р.А. заключается в том, что в его работе предложен новый подход и выработаны рекомендации по разработке датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей. В частности, предложены математические методы моделирования упругих чувствительных элементов с учетом функциональных возможностей вторичного преобразователя, алгоритмы и программы работы микроконтроллера, обеспечивающего функционирование оптоэлектронного преобразователя, а также варианты конструктивных схем датчиков на основе оптоэлектронных преобразователей, защищенных патентами на изобретения. Кроме того, предложенный в работе аппаратно-программный комплекс может послужить базовой основой для разработки и производства контрольно-проверочной аппаратуры для подобных датчиков статического и полного давлений.

Достоверность результатов диссертации Борисова Р.А. определяется корректностью постановки задач, корректным применением математических методов цифровой обработки сигналов, соответствующих известным фундаментальным теоретическим представлениям, соответствием полученных теоретических выводов результатам натуральных экспериментов, проведенных на созданном автором экспериментальном стенде, а также повторяемостью результатов при многократных измерениях.

Замечания по диссертации.

1. В первой главе при описании недостатков частотных датчиков давлений упоминается «перескок частоты» без раскрытия

физической сущности данного явления, формулировка не понятна в контексте работы.

2. Во второй главе не обоснован выбор программного комплекса ANSYS для решения задач методом конечно-элементного моделирования.

3. В третьей главе представлены варианты алгоритмов работы микроконтроллера, обеспечивающие функционирование вторичного оптоэлектронного преобразователя, но недостаточно подробно раскрыты их достоинства и недостатки. Кроме того, не указаны маркировки аппаратных компонентов аппаратно-программного комплекса, в частности, нет названия пьезоэлектрического датчика давления, нет маркировки микрометра.

4. В библиографии практически мало ссылок на современные отечественные и зарубежные источники, кроме того, в списке достаточно большое количество учебных пособий.

5. В тексте диссертации присутствуют орфографические, пунктуационные ошибки и опечатки, например, стр.2, стр. 19, стр. 25, стр. 27 и др.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором при подготовке доклада, представляемого к защите.

Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне, является законченной научно-исследовательской работой и может быть квалифицирована, как совокупность научно обоснованных технических и технологических решений, внедрение которых, вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса в области приборостроения.

И самое главное.

Диссертационная работа Борисова Руслана Андреевича на тему «Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства длительной техники и систем управления», является законченной научно-квалификационной работой, которая по актуальности, научно-техническому уровню и практическому значению выполненных исследований, технических и технологических разработок полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук: п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а Борисов Руслан Андреевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности.

Содержание диссертации соответствует специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Спасибо.

*(Отзыв прилагается).*

Председатель

Соискателю предоставляется слово для ответа на замечания оппонента.

Соискатель

С отзывом доктора технических наук, профессора Михайлова Петра Григорьевича и замечаниями я согласен.

Председатель

Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту - **к.т.н. Новикову Сергею Геннадьевичу.**

К.т.н. Новиков С.Г.

Здравствуйте коллеги, я бы тоже хотел остановиться только на основных моментах.

Безопасное выполнение полета современного воздушного судна зависит от функциональной надежности его системы управления и адекватности действий пилота. Качество системы управления определяется, в первую очередь, качеством первичной информации, получаемой от датчиков и сенсоров. Точностью обработки и преобразования первичной информации в управляющие сигналы, для механических и гидравлических исполнительных устройств, узлов и агрегатов, а также качеством, достаточностью и достоверностью информации для пилотов, необходимой для принятия правильных решений по управлению воздушным судном. По этой причине повышение качества и надежности современных систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна, обеспечивающих выбор и поддержание высоты, горизонтальной и вертикальной скоростей полета в различных режимах управления является важной научно-технической задачей.

Решение этой задачи во многом основано на улучшении механических, электрических, метрологических, массогабаритных и других характеристик, и параметров первичных преобразователей - аэрометрических датчиков полного и статического давления. Разработке и исследованию подобных датчиков, основанных на новых принципах преобразования физических величин в электрические сигналы, обладающих улучшенными метрологическими характеристиками посвящена диссертационная работа Р.А. Борисова.

По структуре и содержанию диссертации я думаю, никаких дополнительных слов говорить не нужно, остановлюсь на техническом уровне и научной ценности диссертации.

По моему мнению, научная ценность работы заключается в том, что впервые получены и обоснованы рекомендации для построения конструктивных схем датчиков давлений на базе оптоэлектронных преобразователей, которые отличаются наличием высокочувствительного вторичного преобразователя и упругой мембраны с минимизированной деформацией. Предложены новые алгоритмы работы микроконтроллера, которые обеспечивают, при измерении линейных перемещений жестких центров мембран, обработку сигналов с выхода ЛФП при воздействии на него одного или нескольких световых пятен, что обеспечивает более высокую точность измерений перемещения жесткого центра мембраны, а также повышение быстродействия измерительной системы.

Также ценность работы заключается в том, что впервые разработаны математические модели взаимосвязей порога

чувствительности вторичного преобразователя с процедурами обработки информационных данных, получаемых при деформации УЧЭ, вызванных изменением статического и полного давлений и отличающиеся тем, что в них учитывается шаг дискретизации вторичного преобразователя.

Что касается практическая ценность работы, одним из наиболее важных практических результатов работы является создание нового аппаратно-программного комплекса для исследований метрологических характеристик датчиков давлений, который может быть использован для технологического и выходного контроля качества продукции на предприятиях-производителях датчиков, а также на входном контроле предприятий-производителей систем воздушных сигналов.

Достоверность представленных в работе результатов подтверждается правильным применением математических методов, оценки погрешностей, теории вероятности и математической статистики, а также методов математического моделирования с применением ЭВМ, совпадением результатов измерений с аналитическими и численными расчетами, повторяемостью результатов при повторных экспериментальных измерениях, практической реализацией разработанных способов и средств.

Диссертация написана квалифицированно, литературно-техническим языком, снабжена достаточным количеством иллюстративного материала.

Однако имеются и замечания. У нас с Русланом Андреевичем была долгая дискуссия, в процессе которой он ответил на многие вопросы.

Но некоторые из них я бы хотел озвучить.

1. В положении 2, выносимом на защиту указано, что конструктивные схемы датчиков давлений, полученные путем интеграции оптоэлектронного вторичного измерительного преобразователя, упругих мембран, и устройств управления деформациями, основанных на законах магнитного притяжения, а также оптического отражения, обеспечивающих улучшение метрологических характеристик. Не ясно, о каких законах идет речь.

2. При построении математической модели, представленной во второй главе диссертации, не приведены допущения и приближения, в рамках которых модель является адекватной. Отсутствие данной информации не позволяет определить правомерность ее применения.

3. В тексте диссертации указано, что степень достоверности результатов подтверждаются результатами экспериментов, выполненных на созданном автором экспериментальном стенде, при этом не указано прошел ли стенд метрологическую экспертизу или сертификацию. Кроме того, не указаны метрологические характеристики опорного датчика давления, с которым сравниваются результаты измерений.

4. В выводах по второй главе указано, что впервые разработаны математические модели взаимосвязей информационных элементов с процедурами обработки данных, о которых в тексте диссертации нет упоминаний.

5. Вызывают сомнение утверждения об улучшении метрологических параметров конструкций датчиков давления, у которых линейный фотоприемник располагается на мембране и соединяется с разъемом корпуса при помощи проводов. При этом влияние подвижных проводов на подвижном элементе не принимается во внимание.

6. К сожалению, текст диссертации, не лишен орфографических и пунктуационных ошибок и опечаток. Например, стр.2, стр. 19, стр. 25, стр. 27 рис. 1.16, рис. 3.14 и др.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация Борисова Р.А. является законченной научно-исследовательской работой и может быть квалифицирована как совокупность научно-технических и технологических решений, внедрение которых вносит вклад в развитие научно-технического прогресса в области приборостроения. Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Степень апробации работы путем опубликования основных положений в печати (25 публикаций) и путем использования полученных методик, моделей, алгоритмов и программ при разработке методик и программ летных испытаний беспилотных воздушных судов, в частности, позволили осуществить предварительную оценку характеристик точности СВС. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Как следует из вышеизложенного, представленная работа Борисова Р.А, по актуальности, научно-техническому уровню и практическому значению выполненных исследований технических и технологических разработок отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Борисов Р.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Спасибо.

*(Отзыв прилагается).*

Председатель

Слово для ответа на замечания оппонента предоставляется соискателю.

Соискатель

С отзывом кандидата технических наук Новикова Сергея Геннадьевича согласен.

Но хотел бы прокомментировать пятое замечание.

На основании полученных результатов, нами разработаны конструктивные решения, которые исключают размещение линейки фотозлектронных приемников на шторке. В дальнейшем на шторке будут только прорези.

Спасибо.

Председатель

Кто хочет выступить?

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

Работа носит выраженный практический характер. Направленная практическая реализация. Решается стратегически важная научно-техническая задача. Основное достоинство, как мне кажется, предложенных решений в том, что они уменьшают диапазон колебания мембраны и, следовательно, характеристика будет более линейная. Это в свою очередь ведет к увеличению точности и надежности, снижению требований к качеству материала мембраны и т.д.

Работа «живая», она не лишена недостатков, особенно в области некоторых формулировок и использовании в той или иной области терминов. Но с точки зрения задачи совета, а именно понять соответствует ли квалификация соискателя искомой ученой степени, в таком соответствии у меня сомнений нет.

Д.т.н., доцент Киселев С.К.

Да, действительно, работа носит практически направленный характер. И даже при условии, что существуют достаточно дешёвые полупроводниковые датчики давлений, но мы видим, что разработка датчиков давлений специальных применений продолжается. Мы часто слышим про подобные работы, выполненные нашими коллегами, например, в ООО МИДАУС. Подходы совершенно разные. Автор, в данном случае, ориентировался на авиационное применение. Решения, предложенные автором, обоснованы и направлены на снижение электропотребления и снижение массогабаритных параметров.

Работа характеризует соискателя положительно, поскольку он не только предлагает какие-то идеи, он их реализует. Предлагает исследовательские стенды, которые позволяют практически подтвердить те положения, которые он выдвигает.

Работа очень интересная и в квалификации соискателя у меня сомнений нет.

Д.т.н., профессор Васильев К.К.

Не смотря на замечания, которые были очевидны, надо было повнимательней относиться к оценке погрешностей и терминологии, но тем не менее, это тот редкий случай, когда все члены диссертационного совета все поняли. Это хорошо. По своей сути эта работа практическая и имеет больше практическое значение. Очень важно, что было получено пять патентов на изобретения что закрепляет за автором эти результаты. И я надеюсь, что в ближайшее время или в перспективе мы увидим эти датчики в исследовательских лабораториях УКБП или других предприятиях. А потом, может быть, увидим их на вертолетах и самолетах. В целом, мне кажется, работа очень хорошая. Очень много сделано. Соискатель молодец, новое направление открыл в области разработки датчиков делений на основе оптоэлектронных преобразователей. Поэтому я буду голосовать «за».

Д.т.н. доцент Епифанов В.В.

По моему мнению, название работы не отражает ее сущность.

Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей – они известны. Не полно раскрыта актуальность темы. Самолеты летают, вертолеты летают – в чем проблема? Не совсем ясно как эти датчики будут работать в системах управления?

Но, с другой стороны, теоретические исследования мне понравились, и методика для расчетов. Предложенные результаты можно использовать в дальнейшем для совершенствования разрабатываемых датчиков и получения новых конструкции. Возможно, тему необходимо было сформулировать как «Совершенствование датчиков».

Мне понравилось, что работа сильно апробирована, публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, получены патенты на изобретения и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Соискатель уже достаточно грамотный исследователь.  
Я думаю, работу можно засчитать.

Д.т.н., профессор Сергеев В.А.

Работа практическая, но, на мой взгляд, основана на серьезных научно-методических основах. Грамотно использованы методы анализа, в том числе моделирование. В работе присутствуют все атрибуты: публикации ВАК, патенты на изобретения и свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Все в комплексе дало тот результат, который мы слышали. Да, конечно, шероховатости есть вот, например, оптоэлектронные преобразователи – это гигантский кластер. Возможно, необходимо было сузить, указав просто линейки фотоэлектронных приемников. Кроме того, у оптического пятна, как я понимаю, нет фронта и спада – это же для импульса. Очевидно, что соискатель все понимает, что можно было применить другие формулировки, и вопросы тогда и не были бы.

Работа, на мой взгляд, является образцом прикладной работы, в которой присутствуют все необходимые элементы.

Я, конечно, буду голосовать «за».

Председатель

Кто еще хочет выступить? Нет желающих?

**Соискателю предоставляется заключительное слово.**

Соискатель

Позвольте, прежде всего, поблагодарить всех тех, кто принимал участие в обсуждении моей работы, всех тех, кто сегодня присутствовал здесь.

Я благодарю своих оппонентов за внимательное прочтение моей работы, за доброжелательное отношение и ценные пожелания на будущее.

Я выражаю благодарность и признательность своему научному руководителю.

Спасибо.

Председатель

Переходим к голосованию. Какие будут предложения по составу счетной комиссии? Поступили предложения включить в состав счетной комиссии профессора Сергеева В.А., профессора Смирнова В.И., профессора Ташлинского А.Г.

Прошу голосовать. Возражений нет.

Председатель

Прошу счетную комиссию приступить к работе.

(Счетная комиссия организует тайное голосование.)

Председатель

Коллеги! Продолжаем нашу работу. Слово предоставляется председателю счетной комиссии профессору Сергееву В.А.

Оглашается протокол счетной комиссии.  
(Протокол счетной комиссии прилагается).

Кто «против»? (Нет).

Кто «воздержался»? (Нет).

Протокол счетной комиссии утверждается.

Таким образом, на основании результатов тайного голосования (за - 16 , против - нет , недействительных бюллетеней - нет) диссертационный совет Д212.277.04 при Ульяновском государственном техническом университете признает, что диссертация **Борисова Р.А.** содержит новые решения по датчикам давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.9 "Положения" ВАК), и присуждает **Борисову Руслану Андреевичу** ученую степень кандидата технических наук по специальностям **05.13.05.**

Председатель

У членов Совета имеется проект заключения по диссертации **Борисова Р.А.** Есть предложение принять его за основу. Нет возражений? (Нет). Принимается.

Какие будут замечания, дополнения к проекту заключения?

**(Обсуждение проекта) .**

Председатель

Есть предложение принять заключение в целом с учетом редакционных замечаний. Нет возражений? Принимается единогласно.

**Заключение объявляется соискателю.**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.277.04, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ПО ДИССЕРТАЦИИ**

**НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 18.05.2022 № 5

О присуждении Борисову Руслану Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата ТЕХНИЧЕСКИХ наук.



Диссертация «Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна» по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» принята к защите 09.03.2022 (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д212.277.04, созданным на базе ФГБОУ ВО «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (432027, Г. УЛЬЯНОВСК, СЕВЕРНЫЙ ВЕНЕЦ, 32) №678/НК ОТ 18.11.2020.

Соискатель Борисов Руслан Андреевич 13 октября 1982 года рождения. В 2019 году соискатель окончил заочную аспирантуру в ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», работает заместителем начальника летно-испытательного комплекса по инженерно-авиационному обеспечению – начальником отдела в ООО «СТЦ» (ООО «Специальный Технологический Центр»). Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева» на кафедре «Авиационная техника».

Научный руководитель – доктор ТЕХНИЧЕСКИХ наук, Антонец Иван Васильевич, доцент, профессор кафедры «Авиационная техника» ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева».

Официальные оппоненты:

1. Михайлов Петр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»;

2. Новиков Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация акционерное общество «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» в своем положительном отзыве, подписанном Козловым Александром Ипатьевичем, кандидатом технических наук, начальником научно-исследовательского отдела НИО-22 указала, что диссертационная работа Борисова Руслана Андреевича на тему «Датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства длительной техники и систем управления», является законченным научно-квалификационным исследованием, в котором решена актуальная задача улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей. По объему, научно-техническому уровню и практическому значению выполненных исследований, технических и технологических разработок диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук: п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842, а Борисов Руслан Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных

изданиях опубликовано 6 работ, получено 5 патентов на изобретения и 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Основные результаты представлены в следующих наиболее значимых работах:

1. Борисов, Р.А. Методология разработки датчика статического и полного давлений на базе упругих чувствительных элементов и оптических линеек / Р. А. Борисов, И. В. Антоненц, А. В. Кротов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2021. – № 1 (134). – С. 33–50.

2. Борисов, Р. А. Система измерения статического и полного давлений, использующая ветвление исходной информации на входе вторичного преобразователя / Р. А. Борисов, И. В. Антоненц, А. А. Черторийский, А. В. Кротов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, – № 9. – С. 813–822.

3. Антоненц, И.В. Датчик статического и полного давления на основе линейки фотоэлектронных приемников / И. В. Антоненц, Р. А. Борисов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, – № 3. – С. 222–227.

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов, все отзывы положительные.

1. ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань. Отзыв подписан доцентом кафедры автоматике и управления, к.т.н., доцентом Кривошеевым С.В.

Замечания: из автореферата не следует, проводился ли анализ точностных характеристик датчиков давления в динамике при изменении высоты полета с различными вертикальными скоростями. В автореферате подробно представлено построение первичных преобразователей и алгоритмы работы вторичных преобразователей, но не указана разрядность кода выходного сигнала, которая будет определять погрешность формирования измеряемой величины. В автореферате не по ГОСТу указаны номера рисунков и ссылки на них в тексте. А также на рисунках 8–10 не очень понятно изображены шторы и прорези.

2. Институт авиационного приборостроения «Навигатор» (АО «Навигатор»), г. Санкт-Петербург. Отзыв подписан начальником научно-исследовательского сектора, д.т.н., Саутой О.И.

Замечания: не ясно, что представляют собой исследуемые в работе «линейки фотоэлектронных приемников» и каковы их технические характеристики. Не ясно, в чем заключалось «...обоснование выбора методики статистического расчета гофрированных мембран», указанное на стр.9. Нет расшифровки обозначений: "h" в формуле (1), "с" в формуле (7), а также аббревиатур SLK и ROG на стр. 11. На стр.7 предлагается способ обработки с использованием «центроид метода», реализуемого на основе формулы (12), а затем «для повышения точности» предлагается «усреднять результаты» по формуле (14). Это может привести к потере точности измерений при некоторых распределениях ошибок измерений. Не ясен смысл требования: «необходимо обеспечить допустимый его предел» при описании эффекта «блуминга», иллюстрируемого на рис.5. При описании устойчивости разрабатываемых датчиков к воздействию возмущающих факторов (стр. 16), не приводятся конкретные диапазоны (температур, вибрации,

давления и др.), в которых предложенные датчики будут эффективны (работоспособны).

3. Филиал ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)» Министерства обороны Российской Федерации в г. Сызрани. Отзыв подписан начальником 5 кафедры авиационного радиоэлектронного оборудования, к.т.н., Алексеевым Э.О.

Замечания: отсутствуют в автореферате расшифровки англоязычных аббревиатур CLK и ROG.

4. ООО «Научно-исследовательский центр Радиотехники» (ООО «НИЦ РАДИОТЕХНИКИ»), г. Санкт-Петербург. Отзыв подписан начальником конструкторского бюро «Радиотехника», к.т.н., Рудем В.В.

Замечания: в основной части описания работы нет упоминания о методологии разработки датчиков давлений, хотя в списке трудов ключевая статья опубликована как «Методология разработки датчика статического и полного давлений на базе упругих чувствительных элементов и оптических линеек» (Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение). Не раскрыты некоторые термины и основные определения по теме исследования.

5. Ульяновский филиал ФБун Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (УФирЭ им. В.А. Котельникова РАН), г. Ульяновск. Отзыв подписан заместителем директора по научной работе, к.т.н., доцентом Черторийским А.А. и старшим научным сотрудником, к.т.н., Низаметдиновым А.М.

Замечания: в работе не проведено сравнение метрологических характеристик разрабатываемого датчика давления, использующего оптический способ съема информации о деформации мембраны, с датчиками, использующими для этих же целей другие способы, например, с помощью тензорезисторов. В автореферате не описана методика испытаний разработанного датчика, а также не совсем понятно, какая из конструкций датчиков, предложенных в диссертации, проходила испытания.

6. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург. Отзыв подписан заместителем заведующего кафедрой АПУ по научной работе, к.т.н., доцентом Каплуном Д.И.

Замечания: не очень хорошее качество рисунка 7.

7. Общество с ограниченной ответственностью МИДАУС (МИкроэлектронные ДАтчики и УСтройства), г. Ульяновск. Отзыв подписан ведущим научным сотрудником, к.ф.-м.н., Пироговым А.В.

Замечания: в работе заявлено решение упруго-пластической задачи, однако, судя по автореферату, приведенные данные свидетельствуют о выполнении расчета для идеально упругого материала с учетом геометрической нелинейности. Задание пластических характеристик материала позволило бы оценить гистерезисные характеристики проектируемого датчика. Не произведена оценка влияния статистических характеристик шума, вызывающего размытие светового пятна, на точность измерения. Асимметричная плотность вероятности должна приводить к появлению систематической погрешности.

8. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург. Отзыв подписан профессором кафедры вычислительной техники, к.т.н., доцентом Сафьянниковым Н.М.

Замечания: из автореферата следует, что повышение быстродействия измерительной системы связано с использованием прерываний контроллера ПДП по заполнению половины буфера, возможен ли эффект от других соотношений заполнения буфера (например, на четверть)? Какие криволинейные отражатели оптических излучений используются в датчиках давлений на рис.11?

9. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации», г. Санкт-Петербург. Отзыв подписан доцентом кафедры № 24 «Авиационная техника и диагностика», к.т.н., доцентом Иванов Д. А.

Замечания: из автореферата не вполне ясно, были ли получены по итогам проведенных автором исследований патенты на изобретение, подтверждающие их новизну, также из автореферата не очевидно, проводился ли расчёт экономического эффекта от внедрения результатов исследований.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в области разработки элементов и устройств вычислительной техники и систем управления, наличием публикаций в ведущих рецензируемых научных изданиях по теме диссертационной работы, что позволило им определить научную и практическую ценность диссертации. Официальные оппоненты не имеют совместных проектов и совместных публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** датчики статического и полного давлений, использующие оптоэлектронные преобразователи на основе линеек фотоэлектронных приемников у которых, по сравнению с эксплуатируемыми в настоящее время датчиками давлений в составе СВС, время передачи данных уменьшено на 19 % (до 0,25 с), питающее напряжение снижено на 78 % (до 3,3 В), потребляемая мощность снижена на 72% (до 280 мВт), погрешность измерений уменьшена на 59% (до 13,14 Па), время готовности снижено на 47 % (до 1 с); оригинальность разработанных датчиков подтверждена пятью патентами на изобретения;

**предложены** новое применение фотоэлектронных приемников в качестве вторичных измерительных преобразователей в датчиках статического и полного давлений и новые подходы к проектированию датчиков статического и полного давлений на основе оптоэлектронных преобразователей, позволяющие учитывать функциональные возможности вторичного преобразователя и закономерности изменения измеряемых давлений;

**доказана** взаимосвязь метрологических характеристик датчиков статического и полного давлений на основе оптоэлектронных преобразователей с количеством оптических пятен, сформированных на фоточувствительной поверхности линейки фотоэлектронных приемников;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказаны** и описаны математические модели взаимосвязей порога чувствительности вторичного преобразователя, геометрического профиля и геометрических размеров упругого чувствительного элемента, а также значений модуля Юнга, коэффициента Пуассона и

закономерности изменения измеряемых давлений с дискретностью измерения статического и полного давлений в рабочем диапазоне высот и скоростей полета воздушного судна, соответственно.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методика приближенного статического расчета упругих чувствительных элементов, конечно-элементное моделирование упруго-пластичных задач, методы статистической обработки результатов измерений и алгоритмы расчета метрологических характеристик датчиков давлений (измерительных приборов);

**изложены** основные научные положения и рекомендации, позволяющие улучшить метрологические характеристики датчиков статического и полного давлений, снизить их массогабаритные параметры и уменьшить собственное потребление мощности;

**раскрыты** основные факторы, влияющие на точность измерений датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей, в частности, влияние интенсивности светового потока и режима работы оптоэлектронного преобразователя, определяющие величину помех, проявляющихся в виде низкочастотных колебаний амплитуды напряжений выходного сигнала линейки фотоэлектронных приемников. Показано и раскрыто, что оптимальное значение интенсивности светового потока и режим работы линейки фотоэлектронных приемников выбирается из условия обеспечения устойчивого формирования оптических пятен (устойчивого выходного сигнала);

**изучена** форма выходного сигнала линеек фотоэлектронных приемников при воздействии на их поверхность оптического пятна и приведены способы определения его «центра тяжести»;

проведена модернизация и разработка алгоритмов работы микроконтроллера, которые обеспечивают при измерении линейных перемещений жестких центров мембран, обработку сигналов с выхода линейки фотоэлектронных приемников при воздействии на фоточувствительную поверхность линейки одного или двух оптических пятен.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** конструкция датчика и способ оптического измерения перемещения в ООО «МИП «МЭлКон» (г. Ульяновск) при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР) при разработке приспособления для автоматических выключателей ВА50-41, А3790 и ВА50-43 регулировки и контроля провалов между подвижными и малоподвижными контактами. Кроме того, методика расчета упругих чувствительных элементов учитывающая закономерность изменения измеряемых давлений с учетом функциональных возможностей вторичного преобразователя в ООО «СТЦ» (г. Санкт-Петербург) при разработке методик и программ летных испытаний беспилотных воздушных судов, в частности, позволили осуществить предварительную оценку характеристик точности СВС;

**определена** область применения полученных результатов, в частности, датчики давлений на основе оптоэлектронных преобразователей могут быть использованы в современных системах воздушных сигналов, предложенная методика математического моделирования статической характеристики упругого чувствительного элемента может быть использована при оценке точностных характеристик датчиков давлений на этапах предварительного

проектирования упругих чувствительных элементов, алгоритмы работы микроконтроллера могут быть использованы для обеспечения измерений линейных перемещений первичных измерительных преобразователей различных физических величин;

**создан** аппаратно-программный комплекс, который может послужить базовой основой для разработки и производства контрольно-проверочной аппаратуры для датчиков полного и статического давлений, использующих оптоэлектронные преобразователи;

**представлены** предложения по дальнейшему совершенствованию предлагаемого метода измерения давлений в виде конструктивных схем датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей с использованием магнитного и зеркального усилителей деформации, а также двухступенчатых упругих чувствительных элементов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана повторяемость и воспроизводимость результатов исследования в различных условиях, в том числе различные алгоритмы и математические методы цифровой обработки сигналов датчиков статического и полного давлений на основе оптоэлектронных преобразователей;

**теория соответствует** известным фундаментальным теоретическим представлениям и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на обобщении передового опыта в приборостроении;

**использованы** сравнения авторских данных и данных, полученных авторами, заложившими фундаментальные основы в разработку первичных и вторичных измерительных преобразователей давлений;

**Личный вклад соискателя состоит в:** получении и апробации защищаемых результатов, достигнутых в процессе теоретических и экспериментальных исследований и отраженных в диссертационной работе, в том числе критический анализ конструкций современных датчиков статического и полного давлений, разработка математических моделей упругих чувствительных элементов, разработка алгоритмов и программ работы микроконтроллеров, разработка способов вычисления давлений при использовании оптоэлектронных преобразователей, разработка аппаратно-программного комплекса, включающая аппаратные и программные компоненты, организация эксперимента, сбор и анализ экспериментальных данных, разработка конструктивных схем датчиков, оформление и публикация в научных журналах, а также обсуждение и интерпретация результатов исследования на научных конференциях и форумах.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. При построении математической модели, представленной во второй главе диссертации, не приведены допущения и приближения, в рамках которых модель является адекватной. Отсутствие данной информации не позволяет определить правомерность ее применения.

2. В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований, при этом не оценивается влияние динамических нагрузок (вибрации, ударов) на точность проводимых измерений.

Соискатель Борисов Р.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: по первому критическому замечанию пояснил, что за основу разработанной методики расчета принята приближенная методика статического расчета упругих чувствительных элементов, выполненных в виде плоских или гофрированных мембран, предложенная Андреевой Л.Е. В тексте диссертации имеются пояснения и ссылки на работу автора. В ее методике принято допущение, что упругий чувствительный элемент является абсолютной гибкой анизотропной мембраной. Кроме того, при учете закономерности изменения измеряемых давлений принимается допущение, что температура по высоте изменяется линейно; по второму критическому замечанию выделил, что динамические исследования выходят за рамки рассматриваемой работы, и отметил, что высокая чувствительность вторичного оптоэлектронного преобразователя позволила свести к минимуму деформацию упругого чувствительного элемента, тем самым обеспечив применение более жестких конструкций, обладающих, при прочих равных условиях, высокой устойчивостью к внешним возмущающим воздействиям.

На заседании 18.05.2022 диссертационный совет принял решение: за новые научно-обоснованные технические решения в области разработки датчиков полного и статического давлений на основе оптоэлектронных преобразователей присудить Борисову Р.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 16, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Защита окончена. Есть ли замечания по процедуре защиты? (Нет).

Поздравляет соискателя с успешной защитой. Благодарит членов совета и всех участников за внимание.

**Заседание объявляется закрытым.**

Председатель Совета Д.С. Ярушкис  
профессор

Ученый секретарь Совета А.М. Наместников  
доцент



Н.Г. Ярушкина

А.М. Наместников

02.06.2022