

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора -
директор НТЦР АО «УКБП»



И.А. Разумов

«05»

04

2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
БОРИСОВА Руслана Андреевича *«Датчики давлений на основе
оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-
скоростными параметрами воздушного судна»*, представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем
управления.

1. Актуальность темы диссертации.

Датчики полного и статического давлений являются источниками первичной информации в системах воздушных сигналов (СВС). Это предопределяет существенную зависимость метрологических характеристик СВС от точности измерения статического и полного давлений (при воздействии дестабилизирующих факторов) и от сохранения заданной точности во времени.

В настоящее время при разработке бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) для современных воздушных судов предъявляются все более жесткие требования к техническим характеристикам составляющих элементов СВС и, в частности, к техническим характеристикам датчиков первичной информации. К стандартным требованиям относятся: высокая надежность, точность измерений, динамическая устойчивость, минимальное энергопотребление, малые габариты и масса. К требованиям современных систем добавляются наличие цифровых интерфейсов межмодульного информационного взаимодействия и высокое быстродействие.

Следует отметить и быстрые темпы развития интегрированных систем резервных приборов (ИСРП), вытесняющих резервную группу аналоговых индикаторов высотно-скоростных параметров. Особенностью ИСРП является интеграция в единый блок датчиков первичной информации, вычислителя, индикатора и автономного источника питания, обеспечивающего автономную работу на временном интервале не менее 30 минут, при отказе основной группы приборов и систем. Это, в свою очередь, требует от датчиков первичной

информации, в частности, от датчиков статического и полного давления, обеспечения компактности и малого потребления электроэнергии.

В связи с вышеизложенным, диссертационная работа Борисова Руслана Андреевича, посвященная разработке и исследованию датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна, которые обладают улучшенными метрологическими характеристиками, сниженными массогабаритными параметрами конструкции, уменьшенным собственным потреблением мощности, минимальной деформацией упругого чувствительного элемента (УЧЭ) за счет использования линейки фотоэлектронных приемников в качестве вторичного измерительного преобразователя, высокая чувствительность которого позволяет осуществить бесконтактный съем информации и обеспечить работу элементов информационной системы в условиях вакуума, является, бесспорно, актуальной и своевременной.

2. Содержание работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и пяти приложений. Общий объем работы 186 страниц, 109 рисунков, 33 таблицы и 112 наименований литературы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель работы и задачи научного исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен критический анализ первичных и вторичных измерительных преобразователей давлений в системе управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна и установлены основные факторы, влияющие на точность измерения давлений при использовании упругих чувствительных элементов. Установлено, что большая часть недостатков датчиков давлений для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна (ВС), связана с контактным воздействием первичного и вторичного преобразователя давлений, а также точностью преобразования деформации УЧЭ в электрический аналоговый или цифровой сигнал. На основе проведенного анализа определена цель и поставлены задачи исследования.

Во второй главе приводится описание методики математического моделирования статической характеристики упругих чувствительных элементов, разработанной автором работы, учитывающей функциональные возможности вторичного преобразователя и закономерность изменения статического и полного давлений. Кроме того, представлен обобщенный алгоритм расчета УЧЭ на основе полученных математических зависимостей и конечно-элементного моделирования упруго-пластичных деформаций с использованием программного комплекса ANSYS, обеспечивающего учет потребных характеристик точности разрабатываемых датчиков давлений и прочностных характеристик УЧЭ по критериям эквивалентного напряжения и коэффициента запаса прочности.

В третьей главе приведено описание разработанной экспериментальной установки в виде аппаратно-программного комплекса, включающего средства, обеспечивающие функционирование и автоматизацию процессов экспериментальных исследований датчиков давлений на основе линеек фотоэлектронных приёмников (ЛФП).

Приводится описание разработанных автором алгоритмов и программ, обеспечивающих функционирование и цифровую обработку сигналов датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна.

В четвертой главе выполнена экспериментальная проверка и оценка метрологических характеристик датчиков давлений, использующих оптоэлектронный преобразователь, а также определено влияние внутренних и внешних возмущений на точность измерений. Выполнена сравнительная оценка результатов экспериментальных исследований с метрологическими характеристиками датчиков давлений типа ДДГ, входящих в состав серийно выпускаемых систем воздушных сигналов. Установлено, что использование датчика давлений на основе ЛФП на 19% уменьшает интервал передачи данных между датчиком и сопрягаемым оборудованием, на 72% снижает электропотребление, на 59% увеличивает характеристики точности, на 96% уменьшает время готовности и на 46% снижает массогабаритные параметры датчиков давлений.

В пятой главе представлены разработанные конструктивные схемы датчиков давлений на базе оптоэлектронного преобразователя, полученные путем интеграции высокочувствительного вторичного преобразователя, упругих мембран и устройств управления деформациями, основанные на законах магнитного притяжения и обеспечивающие повышение точности измерения давлений в широком диапазоне. Предлагаемые датчики статического и полного давлений, в которых используется оптический метод преобразования информации на основе оптоэлектронных преобразователей в качестве вторичных преобразователей, позволили напрямую связать цифровой выход последних с вычислительным устройством СВС.

В приложении А представлены результаты статистической обработки экспериментальных данных, в приложении Б – акты внедрения результатов диссертационной работы, в приложении В – фрагменты программного кода для микроконтроллера, в приложении Г – патенты на изобретения и в приложении Д – свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

3. Научная новизна и достоверность полученных результатов.

Научной новизной обладают следующие результаты диссертационной работы:

1. 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, а также устройства управления деформациями, основанного на

законах магнитного притяжения, обеспечивающих повышение точности измерения аэрометрических параметров.

2. 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.

3. Предложены алгоритмы работы микроконтроллера, которые обеспечивают обработку сигналов с выхода ЛФП при воздействии на него одного светового пятна, отличающиеся тем, что при опросе ЛФП аналого-цифровой преобразователь совершает двойное преобразование, что обеспечивает более высокую точность измерения перемещения жесткого центра мембраны.

4. Предложены алгоритмы работы микроконтроллера, которые обеспечивают обработку сигналов с выхода ЛФП при воздействии на нее двух оптических пятен, причем процесс математической обработки полученных данных выполняется до завершения полного цикла опроса, что обеспечивает более высокую точность измерений перемещения жесткого центра мембраны, а также повышение быстродействия измерительной системы.

5. Предложены метод и алгоритм обработки исходной информации, основанные на применении шторок с n щелями, которые дают возможность сформировать на ЛФП n оптических пятен, перемещающихся в функции измеряемого давления, что позволяет за один период опроса линейки получить n независимых значений измеряемого давления и, тем самым, повысить точность измерения, а также свести к минимуму влияние внешних возмущающих факторов, в частности, вибраций.

Достоверность результатов диссертации определяется корректностью постановки задач, применением апробированных математических методов цифровой обработки сигналов, соответствием теоретически полученных данных результатам натуральных экспериментов, проведенных на созданном автором экспериментальном стенде, а также повторяемостью результатов при многократных измерениях.

4. Значимость результатов диссертации для науки и практики.

Теоретическая значимость диссертации заключается в разработке методики проектирования датчиков статического и полного давлений на основе оптоэлектронных преобразователей.

Практическая значимость диссертации состоит в разработанных алгоритмах работы микроконтроллеров и программ, обеспечивающих формирование управляющих импульсов и цифровую обработку сигналов оптоэлектронных преобразователей. Кроме того, разработаны конструктивные схемы датчиков статического и полного давлений на основе оптоэлектронных преобразователей, защищенных патентами на изобретения.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Полученные в ходе диссертационных исследований результаты могут быть использованы при разработке и исследовании датчиков давлений на основе оптоэлектронных преобразователей для систем управления высотно-скоростными параметрами воздушного судна.

6. Соответствие требований по выполнению и оформлению результатов диссертации.

Диссертация и автореферат изложены технически грамотным языком, текст хорошо структурирован и иллюстрирован, все положения аргументированы. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Результаты исследований достаточно полно отражены в 25 работах, в том числе, 6 статьях в журналах из перечня ВАК. Получено 5 патентов на изобретение, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты диссертации доложены, обсуждены и получили одобрение специалистов на следующих конференциях: V Международная научно-практическая конференция «Академические Жуковские чтения» (г. Воронеж, 2017 г.), XXXII Научно-практическая конференция «Потенциал современной науки» (г. Липецк, 2017 г.), VI Международная научно-практическая конференция «Академические Жуковские чтения» (г. Воронеж, 2018 г.), 22-ой Международная конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2020» (г. Москва, 2020) и VII Международном форуме «Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications – 2021» (г. Ижевск, 2021).

Полученные результаты использованы при выполнении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР) ООО «МИП «МЭлКон» (г. Ульяновск) и в ООО «СТЦ» (г. Санкт-Петербург, № 113/08/01ЛИК от 16.08.2021 г.).

7. Замечания по диссертации.

1. В первой главе проводится анализ упругих чувствительных элементов, рассмотрены цилиндрические плоские и гофрированные мембраны, но, как известно, существуют и другие первичные измерительные преобразователи давлений, например, сильфоны или трубки Бурдона. Об этом нет упоминания в работе.

2. Во второй главе приводится описание разработанного автором аппаратно-программного комплекса, при этом перечисляются аппаратные компоненты и приводятся их тактико-технические характеристики. Отсутствует аргументация автором выбора того или иного элемента, например, светодиода ARL-3214.

3. В третьей главе представлены рекомендации по проектированию и разработке конструкций датчиков статического и полного давлений на основе оптоэлектронных приемников, при этом следовало бы более детально описать способы обеспечения герметичности подобных датчиков.

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

5. Следовало бы расширить список использованных источников более современными научными изданиями.

Указанные недостатки не носят принципиального характера и не затрагивают основных научных результатов, полученных в работе.

8. Заключение.

В целом 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 присвоения ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании научно-технического совета (НТС) АО «УКБП» протокол № 07/22-1 от «07» апреля 2022 г.

Отзыв подготовил:

Начальник научно-исследовательского отдела НИО-22, к.т.н.



А.И. Козлов

Главный конструктор направления
Аэрометрические и инерциальные системы



В.А. Павлинов

Информация об организации:

Акционерно общество «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»

Почтовый адрес: 432071, г. Ульяновск, ул. Крымова, д.10 А.

www: <http://www.ukbp.ru/>, e-mail: inbox@ukbp.ru