

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель
генерального директора – директор
по инновационному развитию
АО "Ульяновское конструкторское
бюро приборостроения", к.т.н.

В.П. Деревянкин
"13" 2021 г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Савченко Евгения Геннадьевича «Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Применение датчиков давления в технологических процессах, системах контроля и управления накладывает определённые требования на их метрологические характеристики. Постоянно возрастают требования к точности измерений, к стабильности характеристик при воздействии внешних факторов, расширяются температурные интервалы эксплуатации. Диссертационная работа Савченко Евгения Геннадьевича посвящена проектированию и разработке тензометрических преобразователей (ТП) давления, имеющих более высокие метрологические и эксплуатационные характеристики.

Актуальность исследований подтверждается тем, что на их основе в настоящий момент разработаны и изготовлены образцы ТП с техническими характеристиками, отвечающими современным требованиям науки и техники.

Не вызывает сомнения и **научная новизна** работы, которая выражается в том, что впервые экспериментально исследован состав и свойства соединительного слоя сапфира с металлическим упругим элементом в ТП давления на основе КНС, в котором традиционно использовался серебромедный припой, и показано его отрицательное влияние на метрологические характеристики преобразователей.

Поставленная перед диссидентом работа содержала целый комплекс задач, в процессе решения которых были получены результаты, представляющие **практическую ценность**:

1. Проведенные детальные исследования материалов металлических составляющих преобразователей позволили выбрать оптимальные титановые сплавы для мембранных упругих элементов, а также впервые предложить и опробовать другие металлы для упругих мембран ТП.

2. Экспериментальные исследования состава и свойств соединительного слоя сапфира с металлическим упругим элементом в ТП давления на основе КНС позволили предложить соединять сапфир с металлической упругой мембраной аморфным припоеем на основе титана, а также подобрать оптимальный режим пайки. Это позволило разработать и производить ТП с более высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками.

3. Автором получены экспериментальные данные по новому виду составляющей погрешности ТП давления на основе КНС – гистерезису первого нагружения. Полученные данные были им связаны с теорией упругости и теоретически объяснены.

4. Разработанный автором диссертации процесс термомеханической стабилизации ТП позволил значительно повысить эксплуатационные и метрологические характеристики ТП.

Также, стоит отметить, что важным фактом, подтверждающим практическую ценность полученных результатов, является внедрение результатов данной работы в серийное производство датчиков новых улучшенных тензопреобразователей давления на основе структур КНС.

К числу недостатков автографата можно отнести:

1. В автографате отсутствуют сведения о метрологических и эксплуатационных характеристиках современных датчиков давления иностранного производства.

2. В списке публикаций автора отсутствуют сведения о защите разработанных соискателем технических решений объектами интеллектуальной собственности: патентами на изобретения, полезными моделями и т.д.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации. Рассматриваемая диссертация является целостным и завершенным научным исследованием. Она выполнена на высоком научно-техническом уровне, апробирована на Всероссийских и Международных научно-технических конференциях. По структуре и содержанию решённых в ней задач работа полностью отвечает требованиям специальности 05.13.05.

В целом, из автографата следует вывод, что представленная диссертация «Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире» соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к работам на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор Савченко Евгений Геннадьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 - «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Начальник НИО-22, к.т.н.

Козлов Александр Ипатьевич

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»,
432071, г. Ульяновск, ул. Крымова, 10а, тел. (8422) 43-43-76,
e-mail: inbox@ukbp.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Савченко Евгения Геннадьевича
«Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик
преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и
систем управления»

Диссертационная работа Савченко Евгения Геннадьевича посвящена актуальному вопросу – улучшению метрологических и эксплуатационных характеристик тензопреобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире» (КНС). Датчики давления МИДА на основе упомянутых структур положительно зарекомендовали себя в измерительной технике и выпускаются уже более 30 лет. Однако, непрерывно растущие требования к технико-экономическим характеристикам датчиков делают необходимым постоянное совершенствование их конструкции, технологии изготовления и отдельных элементов. В данной работе рассмотрена задача оптимизации центральной компоненты датчика – тензопреобразовательного узла, содержащего КНС структуру, жёстко соединённую с металлическим упругим элементом чащечного типа.

Удачное конструктивное решение для датчиков МИДА было объектом ряда серьёзных исследований. Эти работы позволили реализовать некоторые потенциальные возможности тензопреобразователей на основе КНС в серийном выпуске ряда малогабаритных датчиков давления МИДА с улучшенными метрологическими характеристиками и расширенным диапазоном эксплуатации.

Вместе с тем до последнего времени оставался в тени вопрос о влиянии металлических составляющих тензопреобразователей (упругая металлическая мембрана и соединительный слой мембрана-сапфир) на метрологические и эксплуатационные характеристики тензопреобразователей на основе КНС. Именно такая задача, требующая как материаловедческих, так и метрологических исследований, была поставлена и успешно решена Е.Г. Савченко.

Комплекс исследований, проведенных Савченко Е.Г., позволил сформировать конкретные решения по оптимизации конструкции тензопреобразователей, которые приводят к улучшению их метрологических и эксплуатационных характеристик.

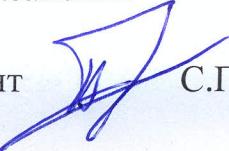
Также, стоит отметить, что важным фактом, подтверждающим практическую применимость полученных результатов, является внедрение в серийное производство датчиков новых улучшенных тензопреобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире».

Вместе с тем, можно указать на некоторые недостатки автореферата.

1. В автореферате отсутствуют сведения о том в каких конкретно системах управления используются исследуемые датчики.
2. Часть рисунков имеет очень мелкий шрифт.

Отмеченные недостатки не снижают общей ценности диссертационной работы, считаю, что в диссертации получены новые и интересные результаты, а ее автор Савченко Евгений Геннадьевич заслуживает присвоения искомой степени кандидата технических наук. Его исследования позволяют сделать российские датчики более конкурентно-способными в мире.

Заведующий кафедрой приборостроения,
Чистопольского филиала «Восток» ФГБОУ ВО «Казанский
национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ», к.т.н., доцент

 С.Г. Прохоров

Подпись Прохорова С.Г. 



Прохоров Сергей Григорьевич
422981, г. Чистополь, ул. Энгельса, д. 127 А,
Тел.: (84342) 5-69-42, e-mail: psgr@mail.ru,
Чистопольский филиал «Восток» ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»,
заведующий кафедрой приборостроения.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Савченко Евгения Геннадьевича

«УЛУЧШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР «КРЕМНИЙ НА САПФИРЕ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Датчики давления являются важнейшими устройствами, необходимыми для обеспечения правильности протекания и контроля технологических параметров множества технологических процессов, оценки работоспособности оборудования, безопасности на производствах и в быту. Во многом точность оценки давления в технологическом процессе определяет прогресс во многих областях науки и техники, поэтому повышение характеристик датчиков давления, а, следовательно, и диссертационная работа Савченко Е.Г. обладает актуальностью и практической значимостью.

В автореферате последовательно и в полном объеме раскрыты актуальность, состояние проблемы, цель исследования и задачи, решаемые для ее достижения. Обоснованы научные положения, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

В диссертационной работе приведены конструкции и особенности структур КНС и преобразователей давления на их основе; исследованы технологические особенности изготовления упругих элементов тензопреобразователей; рассмотрено влияние материалов структуры тензопреобразователя на его метрологические и эксплуатационные характеристики. Показаны преимущества титановых и циркониевых сплавов при соединении мембран на основе титана с сапфиром.

Представленные в автореферате результаты исследований подтверждаются публикациями в журналах из перечня ВАК и апробацией на конференциях. К замечаниям можно отнести следующее:

- указанная оптимальной микроструктура мембранны – мелкозернистая 1-3 балла глобулярного типа – в основном тексте автореферата не упоминается;

- аббревиатура ПЧЭ в тексте автореферата не расшифрована;
- из текста автореферата и рисунка 3 непонятно, в чем преимущество сплава ВТ-6 над ВТ-16.

Несмотря на эти недостатки, обусловленные, скорее всего, ограниченным объемом автореферата, работа выполнена на высоком уровне и заслуживает положительной оценки. Актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов соответствуют требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям. Внедренные результаты работы, использующиеся при производстве датчиков давления в ООО «МИДАУС», имеют важное значение для развития промышленности и обеспечения технологического суверенитета и безопасности России. Диссертант Савченко Е. Г. несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 — «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Доктор физико-математических наук, профессор,
директор НПК «Технологический центр»
124498, г. Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1 стр.7, комн. 7237; + 7 (499) 734-45-21
e-mail: tc@tcen.ru

В.В. Светухин



Кандидат технических наук,
начальник НИЛ ПП
НПК «Технологический центр»
124498, г. Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1 стр.7, комн. 7237; + 7 (499) 734-02-68
e-mail: e.kitsyuk@tcen.ru

Е.П. Кицюк

2

Сергей Е.П. Кицюк
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Государственный научный центр «Технологический центр»
отдел кадров
Борис Магалычев

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Савченко Евгения Геннадьевича

«Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Диссертация посвящена исследованию и разработке первичных измерительных преобразователей – тензопреобразователей (ТП) давления на основе структур «кремний на сапфире» (КНС). Полученные результаты позволяют разрабатывать более совершенные средства измерения давления и модернизировать существующие датчики, поэтому диссертация актуальна и по содержанию соответствует заявленной специальности.

В представленной на защиту работе решение задач, сформулированных в начале исследования, достигается соискателем последовательно, шаг за шагом. Сначала автор рассматривает возможные материалы для изготовления упругих элементов и проводит измерение их характеристик в диапазоне температур. Далее экспериментально исследует состав и свойства соединительного слоя сапфира с металлическим упругим элементом в тензопреобразователях давления на основе КНС, в котором традиционно использовался серебромедный припой, и показывает его отрицательное влияние на метрологические характеристики преобразователей, улучшает характеристики данного соединения за счёт использования аморфного припоя на основе титана. Работа завершается разработкой тензопреобразователей с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками, подтвержденными данными сравнительных испытаний. При этом стоит отметить высокий потенциал работы по дальнейшему исследованию соединений сапфира с другими материалами при помощи аморфных припоеv.

Важным фактом, подтверждающим практическую применимость полученных результатов, является исследование, разработка, испытание и внедрение в серийное производство датчиков давления новых улучшенных тензопреобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире».

Вместе с тем, к автореферату имеются следующие замечания:

- 1) автореферат был бы более информативен, если бы на отдельные работы (наиболее значимые), перечисленные на стр. 4 и 11 были даны ссылки;
- 2) из рис. 3 неясно почему сплав ВТ-16 не является оптимальным;
- 3) в автореферате отсутствуют сведения об оценке суммарной погрешности измерений.

Однако указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов диссертационной работы.

По материалам диссертации опубликовано 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК. Диссертация Савченко Е.Г. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические решения по созданию тензопреобразователей давления на основе структур КНС с улучшенными метрологическими характеристиками. Тензопреобразователи с такими характеристиками имеют существенное значение для развития приборостроительной отрасли. Работа соответствует пунктам «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК №9 – 14, а ее автор Савченко Евгений Геннадьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Главный конструктор,
кандидат технических наук

ООО «Ферри Ватт»
Адрес: 420087, г. Казань, ул. Аделя Кутуя, д. 159
Тел./Факс: +7 (843) 208-60-20
E-mail: info@ferrivatt.ru

Подпись заверяю

Ген. директор
ООО «Ферри Ватт»



Саликеев Сергей Иванович

Отзыв
на автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
Савченко Евгения Геннадьевича
«Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик
преобразователей давления на основе структур “кремний на сапфире”
по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления

Актуальность темы диссертационной работы Савченко Е. Г. обусловлена обширной областью применения преобразователей давления и важностью повышения и стабилизации их метрологических характеристик. Особое значение это имеет в связи с цифровизацией экономики РФ и развитием систем контроля и управления.

Наиболее значимыми научно-техническими результатами исследования являются:

- исследование структуры соединительного слоя ТП и определение природы повышенного гистерезиса;
- выбор и обоснование материала упругого элемента (титановые сплавы ВТ6, ВТ9) и материала припоя (СТЕМЕТ);
- предложенный метод термомеханической стабилизации ТП.

Следует отметить большое практическое значение выполненной работы, так как ее результаты позволили существенно улучшить характеристики промышленно выпускаемых преобразователей давления.

Результаты диссертации полно представлены в опубликованных трудах, доложены на конференциях, интеллектуальные достижения защищены патентами.

Из недостатков автореферата следует отметить:

1. В качестве характеристики механических свойств мягкой зоны соединительного слоя припоя ПСр72 автор применяет понятие “предел пластичности”, которое в металловедении не используется. Как вариант предел упругости.

2. В отношении поведения под напряжением сплавов титана при околокомнатных температурах справедливо все же оперировать не понятием “ползучесть”, а “микропластическая деформация”.

3. Согласно шкале величин зерен, принятой в материаловедении, самыми крупными являются зерна 0 и 1 баллов. Так что называть, как делает автор, структуру титанового сплава с зернами 1-3 баллов мелкозернистой-сомнительно.

4. На Рис.3 автореферата на самом деле показана “Диаграмма “напряжение-деформация” при растяжении”.

5. На стр.20 - путаница (дублирование) с описанием Рис.17.

6. Утверждение “Показано, что механические свойства сплава ВТ6 можно повышать с помощью различных термообработок”- очевидно.

7. Экспериментальные данные свидетельствуют о лучших характеристиках ПД, полученных пайкой припоеем СТЕМЕТ 1202, чем СТЕМЕТ 1410. Однако в выводах эти припои присутствуют на равных. Целесообразно также было бы уточнить, использован припой в виде ленты или порошка?

8. Использование припоя СТЕМЕТ требует подогрева до 800-850 °C. Как это отражается на кремнии? Сапфире?

9. Использование технологии SLM для изготовления мембранны сложно обосновать экономически.

Однако указанные замечания не снижают значимости работы, которая является законченным, оригинальным и самостоятельным научным исследованием.

Считаю, что диссертационная работа Савченко Евгения Геннадьевича отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее

автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Ведущий специалист отдела перспективного планирования

АО «Промсервис», кандидат технических наук (05.16.01. Металловедение и термическая обработка металлов)

 /А.Н.Колесников /

«22» ноября 2021

Подпись Колесникова Александра Николаевича заверяю:

Чел. дипломер

433506, Россия, г. Димитровград, Ульяновская область, ул. 50 лет Октября, д.112



18.11.2021

Тел.: +7 (84235) 4-18-07, факс: +7 (84235) 4-58-32

E-mail: promservis@promservis.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Савченко Евгения Геннадьевича
«Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Исследование и разработка тензопреобразователей давления (основного узла, отвечающего за точность датчика давления) на основе структур «кремний на сапфире» (КНС) имеет важное значение для создания новых и модернизации существующих датчиков давления. Поэтому диссертационные исследования и тема диссертационной работы Савченко Евгения Геннадьевича в настоящее время являются актуальными.

Научная новизна диссертационной работы Савченко Евгения Геннадьевича характеризуется следующими основными положениями:

1. Впервые экспериментально исследован состав и свойства соединительного слоя сапфира с металлическим упругим элементом в тензопреобразователях давления (ТП) на основе КНС, в котором традиционно использовался серебромедный припой, и показано его отрицательное влияние на метрологические характеристики преобразователей.
2. Показано, что недостатки соединения подложки с мембраной на основе серебряного припоя, обусловленные неоднородностью его состава по толщине, можно устранить, используя высокотемпературную вакуумную пайку аморфными припоями на основе титана и циркония.
3. Теоретически обоснован и практически исследован техпроцесс термомеханической стабилизации тензопреобразователей с помощью которого удалось расширить температурный диапазон работы высокоточных ТП давления до 350 °C.

Практическая значимость работы Савченко Евгения Геннадьевича заключается в следующем:

1. Изменённое соединение лейкосапфира с упругой мембраной позволило в 4–7 раз снизить вариацию и гистерезис выходного сигнала ТП, особенно при отрицательных температурах, что привело к повышению точности датчиков на основе таких ТП.
2. На основе работы Савченко Е.Г. разработаны и внедрены в серийное производство улучшенные ТП, на основе которых изготавливаются датчики, работающие до температуры 350 °C, для измерения давления расплавов полимеров и эталонные датчики давления с точностью 0,01–0,05%.

Автореферат написан технически грамотным языком и даёт достаточно полное представление о сути диссертационной работы.

К числу недостатков автореферата можно отнести:

1. В списке публикаций автора отсутствуют единоличные публикации автора.
2. В автореферате отсутствует информация о сравнении метрологических характеристик полученных улучшенных датчиков с датчиками иностранного производства.

Отмеченные недостатки не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы.

Судя по автореферату, можно отметить, что диссертация Савченко Евгения Геннадьевича, посвященная решению актуальной задачи улучшению метрологических и эксплуатационных характеристик тензопреобразователей давления на основе структур КНС, представляет собой законченную научно-квалификационную работу. При её выполнении сделан определённый научный и практический вклад в совершенствование тензопреобразователей. Поэтому диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» и требованиям ВАК, предъявляемым к

кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Согласен на включение персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Савченко Е.Г. и их дальнейшую обработку.

Руководитель лаборатории
госстандартов и научных исследований в
области измерений низкого абсолютного
давления и вакуума, к.т.н.


Чернышенко
Александр Александрович

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И. Менделеева»
Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург Московский пр., 19;
Тел: +7 812 251-7601;
Тел./Факс: +7 812 713-0114;
E-mail: vacuum@vniim.ru

Подпись заверяю



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Савченко Евгения Геннадьевича
«Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

Работа Савченко Е.Г. посвящена важной проблеме – улучшению метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления, которые в значительной степени определяют погрешность различных приборов и комплексов. Вопросы уменьшения погрешности преобразователей первичной информации не теряют своей актуальности, и выбранное направление исследований полностью соответствует современным тенденциям в приборостроении.

В работе детально проведены экспериментальные исследования металлических составляющих преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире» и их влияние на метрологические и эксплуатационные характеристики. По результатам экспериментальных исследований были определены наиболее подходящие материалы и технологические процессы.

Научная новизна проведённых исследований заключается том, что впервые детально исследовано стандартное паяное соединение титанового сплава с сапфиром (припой ПСр72), исследованы методы улучшения данного соединения, повышающие метрологические и эксплуатационные характеристики преобразователей. Предложено для повышения качества соединения подложки с мембраной на основе припоя ПСр72, применить высокотемпературную вакуумную пайку аморфными припоями марки СТЕМЕТ на основе титана и циркония.

Практическая ценность подтверждается получением тензопреобразователей давления с уменьшенной (в 4-7 раз) вариацией выходного сигнала, уменьшением гистерезиса первого нагружения при отрицательной температуре в 50-100 раз. Автором разработан и внедрён в производство датчиков давления техпроцесс термомеханической стабилизации тензопреобразователей, с помощью которого удалось расширить температурный диапазон работы высокоточных ТП давления до 350 °C. Отдельного внимания заслуживает то, что на основе улучшенных преобразователей удалось разработать и освоить серийный выпуск датчиков давления, работающих при криогенных температурах (до -200 °C), а также существенно улучшить характеристики общепромышленных датчиков.

Основные результаты исследований опубликованы в 18 печатных работах, в том числе 9 – в журналах, рекомендемых ВАК, докладывались на различных научно-практических конференциях, в том числе и международных.

Диссертация представляет собой завершённый научный труд, соответствует паспорту специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления» и требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05.

Главный эксперт по инновационному развитию
ОАО «Манотом» к.т.н., доцент

sjg@manotom.com

Подпись Свинолупова Ю.Г. заверяю

634061, г. Томск, Комсомольский просп. 62

Горицье
Свинолупов Ю.Г.
заверяю
Главный специалист
департамента по
работе с персоналом
21.12.2021г.



Н.М. Захарова

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Савченко Евгения Геннадьевича
«Улучшение метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

В настоящее время в связи с развитием систем контроля и управления к датчикам предъявляются все более жесткие требования к метрологическим и эксплуатационным характеристикам, в том числе и к входящим в их состав первичным преобразователям информации, в частности, к преобразователям давления. В настоящее время достаточно большой объем датчиков давления создается на базе тензопреобразователей, основанных на тензорезистивном эффекте в полупроводниках, металлах и сплавах. Наиболее распространенные датчики давления как в России, так и за рубежом создаются на основе тензопреобразователей давления, в которых используются тензорезисторы из гетероэпитаксиальных структур «кремний на сапфире» (КНС). Следует согласиться с автором, что в настоящее время отсутствуют данные о детальных исследованиях соединительного слоя сапфира с металлической мембраной, а также свойств самой мембранны, которые, очевидно, оказывают серьёзное влияние на метрологические и эксплуатационные характеристики преобразователей и датчиков давления на основе КНС. Из чего можно сделать вывод, что предельные возможности тензопреобразователей на основе КНС в настоящее время не достигнуты, в том числе по точности и возможности применения в области жёстких условий эксплуатации. Все это подтверждает высокую актуальность выполненной работы.

Целью диссертационной работы явилось совершенствование метрологических и эксплуатационных характеристик преобразователей давления на основе структур «кремний на сапфире» путём выбора лучших материалов упругих элементов и их соединения с сапфиром.

Для достижения поставленной цели автором решены следующие задачи:

- детально исследовано паяное соединение титанового сплава с сапфиром (припой ПСр72);
- получены и исследованы соединения упругих элементов тензопреобразователей давления с лейкосапфиром с помощью высокотемпературной вакуумной пайки аморфными припоями марки СТЕМЕТ на основе титана и циркония;
- разработан и введён в серийное производство техпроцесс пайки припоеем СТЕМЕТ 1202, что привело к значительному улучшению характеристик (снижение вариации выпускаемых приборов) и, в частности, дало возможность освоить производство серии эталонных датчиков давления с точностью лучше 0,05% (до 0,01%);
- теоретически обоснован и практически исследован техпроцесс термомеханической стабилизации тензопреобразователей, с помощью которого удалось расширить температурный диапазон работы высокоточных ТП давления до 350 °C.

Достоверность и достоверность научных положений, выводов и практических результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждена:

- всесторонними исследованиями свойств разработанной конструкции тензопреобразователя;
- результатами опытных испытаний образцов тензопреобразователей и датчиков давления на их основе, а также серийным производством приборов.

Новизна работы заключается в следующих главных на наш взгляд положениях:

- впервые разработан и введён в серийное производство технологический процесс пайки припоеем СТЕМЕТ 1202, позволяющий значительно улучшить характеристики

выпускаемых приборов, в том числе освоить производство серии эталонных датчиков давления с точностью лучше 0,05% (до 0,01%);

– создан новый технологический процесс термомеханической стабилизации тензопреобразователей, позволяющий расширить температурный диапазон работы высокоточных тензопреобразователей давления до 350 °C.

Практическая значимость работы состоит в создании новой технологии и в освоении серийного производства новых тензопреобразователей на основе КНС и датчиков на их основе, работающих до температуры 350 °C и эталонных датчиков давления с погрешностью 0,01 – 0,05%.

По автореферату диссертационной работы можно сделать следующее **замечание**:

В автореферате не уделено внимания к параметрам временной стабильности характеристик тензопреобразователей с предложенной новой технологией их изготовления.

Отмеченное замечание не снижает ценности представленной работы.

В целом, диссертация **Савченко Евгения Геннадьевича** представляется законченной работой, имеющей практическое значение. Ее содержание соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», а ее автор – **Савченко Евгений Геннадьевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой – руководитель
отделения ядерно-топливного цикла на правах кафедры
Инженерной школы ядерных технологий
Томского политехнического университета,
доктор технических наук, доцент

Горюнов Алексей Германович

Ведущий научный сотрудник научно-образовательной
лаборатории электроники и автоматики физических установок
Инженерной школы ядерных технологий
Томского политехнического университета,
кандидат технических наук

Надеждин Игорь Сергеевич

Подписи Горюнова А.Г. и Надеждина И.С. удостоверяю
Директор Инженерной школы ядерных технологий
Томского политехнического университета

Долматов Олег Юрьевич

