

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.0.077.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «УДМУРТСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР УРАЛЬСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» И ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ИЖЕВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.Т.
КАЛАШНИКОВА», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 01.03.2024 г. № 1

О присуждении Кириллову Андрею Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Информационно-измерительная система для контроля прочностных характеристик пломбировочных материалов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, принята к защите 22 декабря 2023 г., протокол заседания № 13, диссертационным советом 99.0.077.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 426067, г. Ижевск, ул. им. Татьяны Барамзиной, 34, приказ об утверждении диссертационного совета № 968/нк от 17.10.2019 г.

Соискатель Кириллов Андрей Игоревич, 14 апреля 1991 года рождения, в 2014 году окончил магистратуру ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» по направлению «Информатика и вычислительная техника» по программе «Информационно-измерительные системы» с присвоением квалификации «магистр». В 2018 году окончил аспирантуру в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» по направлению 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи». В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории «Информационно-измерительных систем» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН), г. Ижевск.

Диссертация выполнена в лаборатории «Информационно-измерительные системы» ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Шелковников Евгений Юрьевич, ведущий научный сотрудник лаборатории «Информационно-измерительные системы» ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН.

Официальные оппоненты:

Бобров Алексей Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры «Физика, электротехника, диагностика и управление в технических системах» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (г. Новосибирск);

Растегаев Игорь Анатольевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского отдела №2 «Физика прочности и интеллектуальные диагностические системы» Научно-исследовательского института прогрессивных технологий, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» (г. Тольятти)

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Томск) в своем положительном отзыве, утвержденном директором, д.т.н., Колубаевым Е.А., указала, что диссертация, представленная Кирилловым А.И., является законченным научным исследованием, включает научно-обоснованные технические и методические решения по созданию надежного и точного измерительного инструмента на базе силового пьезоэлектрического преобразователя для решения важной технической проблемы оценки качества пломбировочных материалов на основе механических показателей, работа выполнена на высоком научном уровне, имеет существенную новизну и практическую значимость.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 20 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Шелковников Е.Ю., Кириллов А.И., Ефремов С.М. и др. Установка с силовым пьезоэлектрическим преобразователем для исследования прочностных характеристик пломбировочных материалов // Ползуновский вестник. – 2013. – №2. – С.201-205. (0,58 усл. печ. л. / личный вклад – 0,3 усл. печ. л.)

2. Шелковников Е.Ю., Кириллов А.И., Ефремов С.М. и др. Трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зуба и пломбы // Ползуновский вестник. – 2014.– №2. – С.54-58. (0,58 усл. печ. л. / личный вклад – 0,3 усл. печ. л.)

3. Кириллов А.И. Исследование пьезоактюаторной информационно-измерительной системы для изучения прочностных характеристик пломбировочных материалов // Интеллектуальные системы в производстве. 2021. Т.19. № 2. С. 4-12. (1,05 усл. печ. л. / личный вклад – 1,05 усл. печ. л.)

4. Кириллов, А. И. Интеллектуальное электрометрическое устройство для диагностики кариеса зубов / А. И. Кириллов, Ю. К. Шелковников, М. А. Плетнев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2023. – Т. 21, № 2. – С. 130-139. – DOI 10.22213/2410-9304-2023-2-130-139. – EDN JGKODW. (1,16 усл. печ. л. / личный вклад – 0,46 усл. печ. л.)

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Кириллов А.И. ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

1. Ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук». Замечания: 1) В диссертации разработаны методика и информационно-измерительная система для проведения ускоренных испытаний прочностных характеристик пломбирочных материалов, но автор не приводит количественной оценки ускорения испытаний в сравнении с клиническими исследованиями. 2) В работе отсутствует (в частности в п. 4.2) методика выбора и подготовки места для наклейки тензодатчиков на поверхность удаленного зуба. 3) Приведенный в работе эффект упрочнения в п. 2.5 описан только для продольного тензодатчика. При этом автор использует два тензодатчика для измерения, в том числе, для измерения поперечной деформации, что позволяет вычислять коэффициент Пуассона. Неясно, каким образом, эффект упрочнения можно использовать для поперечного тензодатчика. 4) На рисунке 3.13 в приведенном окне программы для тензометрического и акустического контроля отсутствуют визуальные и числовые данные. 5) В п. 4.2 из описания методики калибровки тензометрического контроля неясно, о каких корректирующих коэффициентах идет речь и каким образом они вычисляются. 6) В Заключение в п.5 при описании алгоритма проведения прочностных испытаний отмечено, что их автоматический останов осуществляется по пяти дополнительным критериям, но приведены только четыре из них.

2. Официального оппонента Боброва А.Л. Замечания: 1) В диссертации при описании разработанной информационно-измерительной системы не приведена оценка рабочего диапазона измеряемых значений модуля Юнга и коэффициента Пуассона. 2) В алгоритме обеспечения заданного закона силового воздействия для циклического режима (рис. 3.12, п.3.3.1) отсутствует критерий останова «превышение амплитуды сигнала с преобразователя акустической эмиссии». Его следует привести в начале алгоритма, например, перед блоком «Считывание АЦП». 3) При описании структуры цифрового фильтра (п. 3.3.2, рис. 3.14) не приведен алгоритм выбора ширины полосы пропускания полосового фильтра F_w . 4) Не совсем понятно, для чего в разработанном в работе интеллектуальном электрометрическом устройстве реализован электрометрический контроль «живых» зубов, хотя в информационно-измерительной системе он используется для контроля только удаленных зубов. 5) Встречаются неточности, допущенные при оформлении диссертации: в п. 3.4.2 используется сокращение «интеллектуальное электрометрическое устройство (ИЭУ)» только в пределах одного параграфа, поэтому его введение нецелесообразно; в п. 2.3 на стр. 66 в первом абзаце перепутаны индексы модулей упругости стали и дентина, указанные в скобках; в п. 2.3 на стр. 76 для рисунка 2.14 не приведена формула для δ_1 и др.

3. Официального оппонента Растегаева И.А. Замечания: 1) Отсутствует оценка адекватности разработанной в диссертации электромеханической модели силового блока и в таблице 2.4 (п. 2.3) приведены параметры для электромеханической модели без указания их источника, откуда они были взяты. 2) В разработанном алгоритме обеспечения заданного закона силового воздействия для циклического режима работы силового блока критерии останова работают по независимой схеме (т.е. по логической схеме «ИЛИ») (п. 3.3.1). Хотя целесообразно использовать объединение нескольких критериев для повышения достоверности информации при проведении усталостных испытаний. 3) В работе за «истинные» акустико-эмиссионные сигналы принимаются те, которые не удовлетворяют признакам электромагнитных и механических шумов (п. 3.1.2).

Хотя данный результат при меньших вычислительных ресурсах и большей помехозащищённости мог быть достигнут совместным применением критерия Капистрано и эффекта Кайзера, что не было рассмотрено в работе. 4) В методике получения полной информации о напряженно-деформированном состоянии образца в п.4.3 приведенные формулы для параметров «b», «c», «d» (4.3 – 4.4) взяты из зарубежной литературы [Daryl L. Logan A First Course in the Finite Element Method. – USA, University of Wisconsin–Platteville, Fourth edition, 2007. – 836 с.], в которой описан метод конечных элементов. При этом формулы для этих параметров также присутствуют в монографии [Зенкевич О.С. Метод конечных элементов в технике – Москва: издательство «Мир», 1975 г. – 538 с.], на которую автор ссылается ранее в этом же параграфе. Неясно, чем обоснован данный выбор. 5) По ходу работы несколько раз говорится об акустико-эмиссионном критерии останова испытания образца, но при этом в работе нет его четко сформулированного описания. В связи этим не ясно, как реализуется данный критерий. 6) Оглавление не совпадает с главами и пунктами в тексте (в оглавлении отсутствуют п. 1.4.1). Пункт 1.4 имеет всего один подпункт 1.4.1, поэтому смысла разделения не имеет.

4. ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет». Замечания: 1) Из автореферата не ясно, в чем заключаются признаки высокоточных измерений и интеллектуальности электрометрического устройства, приведенных в п. 6 заключения. 2) Не приведена методика калибровки разработанного информационно-измерительного комплекса.

5. Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей - филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России. Замечание: Из текста автореферата неясно, как осуществляется диагностика зубов *in vivo* с применением разработанного интеллектуального электрометрического устройства. Также отсутствует информация о сертификации данного устройства, что является обязательным при проведении клинических испытаний.

6. ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет». Замечания: 1) Не описан способ прикрепления преобразователя акустической эмиссии (ПАЭ) к исследуемому образцу. 2) В работе автором разработан большой объем программного обеспечения, поскольку информационно-измерительная система имеет в своем составе как минимум два сигнальных процессора и центральную ПЭВМ. Однако в автореферате не приведено ни одного описания или блок-схемы разработанных алгоритмов.

7. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий». Замечание: В автореферате нет описания, каким образом выполняется постобработка данных, полученных в среде Ansys Mechanical.

8. ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет». Замечания: 1) Из приведенного в автореферате не ясно, каким образом выбираются коэффициенты А и В для формулы (2). 2) Обильное наличие аббревиатур, которые затрудняют понимание. 3) Не приведены погрешности исследуемых параметров.

9. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет». Замечания: 1) В одном из критериев останова испытаний указано «превышение сигнала с ПАЭ» без какой-либо дополнительной обработки сигнала – однако, при этом возможен ложный останов, например, от помехи или шума. 2) В работе устоявшийся термин «эффект подкрепления тензодатчиком» назван как «эффект упрочнения». 3) Присутствуют погрешности оформительского характера.

10. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». Замечания: 1) На стр. 12 автореферата указано: «На основе анализа ЭММ, необходимо применять два последовательно расположенных ПП для имитации жевательного процесса: генерируемая сила составила 950 Н для образца из ТТЗ». Однако, в эксперименте для образца из удаленного зуба с пломбировочным материалом (рис. 10, а) генерируемая пьезоэлектрическими преобразователями сила составляет около 400 Н. Не совсем понятно, чем обусловлено такое низкое значение силы: почти в 2 раза меньше теоретических расчетов. 2) Неясно, что подразумевается под понятием «эквивалентное значение модуля Юнга» (стр. 19). 3) Упомянутая в разделе «Публикации» печатная работа из базы Scopus не выделена в списке публикаций соискателя.

Все отзывы положительные.

Соискатель Кириллов А.И. ответил на заданные вопросы и замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной компетентностью, наличием публикаций в областях наук, связанных с темой диссертационного исследования Кириллова А.И.

В ведущей организации – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» проводятся исследования, близкие по теме диссертационного исследования, такие как: усталостные разрушения, изучение механических свойств материалов, численные исследования напряженно-деформированного состояния материалов, акустическая эмиссия.

Официальный оппонент Бобров А.Л. является специалистом в области электротехнических измерений и неразрушающего контроля электромагнитными и акустическими методами.

Официальный оппонент Растегаев И.А. является специалистом в области неразрушающего контроля акустическими методами и разработки методов обработки результатов и автоматизации средств акустоэмиссионного контроля при действии источников шумоподобных процессов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработаны** новая методика и реализующая ее двухуровневая информационно-измерительная система для ускоренного изучения прочностных характеристик образцов из соединений пломбировочных материалов и твердых тканей зуба, включающая тензометрический, акустический, электрометрический и оптический способы их контроля, позволяющая проводить испытания образцов с имитацией жевательного процесса и осуществлять обнаружение дефектов в этих образцах;

- **предложена** электромеханическая модель процесса нагружения образца с помощью силового пьезоэлектрического преобразователя для замкнутой механической системы силового блока информационно-измерительной системы, позволяющая определить оптимальные условия работы данной системы: количество и взаимное расположение преобразователей, их частотный диапазон, максимальную генерируемую силу;

- **доказана** перспективность использования разработанных программно-аппаратных средств, позволяющих проводить исследования прочностных характеристик пломбировочных материалов и их соединений с удаленными твердыми тканями зубов, в стоматологических клиниках и материаловедении для независимой оценки качества существующих и экспериментальных пломбировочных материалов;

- **введено** новое понятие «эффект упрочнения», позволяющий оценить реальный модуль упругости образца, который изменяется под действием приклеенного тензодатчика.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказано**, что для ускоренных испытаний образца применение двух последовательно расположенных пьезоэлектрических преобразователей является оптимальным, так как это позволяет воспроизводить механическое воздействие на образец, являющееся достаточным для имитации жевательного процесса;

- **применительно к тематике диссертации результативно использован** метод аналогий для изучения работы силового пьезоэлектрического преобразователя в механической замкнутой системе силового блока;

- **изложен** подход к исследованию прочностных параметров пломбировочных материалов на основе комплексной методики, позволяющей проводить теоретическое и экспериментальное изучение прочности соединения зуб-пломба;

- **раскрыта** проблема контроля внутренних дефектов в образцах после проведения испытаний на основе электрометрического метода, обусловленная недостаточной достоверностью процесса протекания тока через твердые ткани зуба;

- **изучены** относительные погрешности определения упругих характеристик, позволившие выработать рекомендации по уменьшению этих погрешностей;

- **проведена модернизация** электрометрического метода применительно к твердым тканям зуба.

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

- **разработаны и внедрены** методические и программно-аппаратные средства для изучения прочностных характеристик композитных пломбировочных материалов в УдмФИЦ УрО РАН, которые использованы при выполнении госбюджетных научно-исследовательских работ «Создание комплексных методов и программно-аппаратных средств неразрушающего контроля материалов и изделий для нанотехнологий, медицины и военной техники» (2019-2021 гг., рег. № АААА-А19-119022890066-0), «Разработка и совершенствование методического, алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения в системах неразрушающего контроля материалов и изделий для нанотехнологий, медицины и техники специального назначения» (2022-2024 гг., рег № 122040800105-9), а также в учебном процессе ИжГТУ имени М.Т. Калашникова и ИГМА.

- **определены** перспективы использования предложенных моделей, методик и алгоритмических и аппаратных решений для оценки прочностных характеристик образцов в материаловедении;

- **созданы** методические основы для реализации сравнительного анализа результатов экспериментальных исследований и напряженно-деформированного состояния трехмерной модели с использованием Ansys Mechanical, позволяющие оценивать изменение напряжений в узлах конечно-элементной сетки на границе двух материалов по всему объему данной модели при изменении параметров этих материалов;

- **представлены** результаты экспериментальных исследований пломбировочных материалов и их соединений с удаленными твердыми тканями зубов с применением разработанных программно-аппаратных средств, которые показали работоспособность последних и возможность внедрения в стоматологические клиники.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ использованы аттестованные измерительные средства, обоснованы методы калибровки созданной двухуровневой информационно-измерительной системы, показана воспроизводимость результатов исследований, полученных в ходе экспериментов путем их сравнения с результатами исследований других авторов;

- теория построена на применении метода аналогий, элементов теории механики деформируемого твердого тела, метода конечных элементов, основах физики и электрохимии, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

- идея базируется на обобщении передового опыта использования для проведения испытаний на прочность образцов с применением силовых пьезоэлектрических преобразователей и анализе практики применения электрометрического метода для диагностики твердых тканей зубов;

- использован сравнительный анализ электромеханической и объемной конечно-элементной моделей силового блока информационно-измерительной системы;

- установлено качественное соответствие авторских экспериментальных результатов с результатами по данной тематике, представленными в независимых источниках;

- использованы современные методы и технические средства для получения и обработки измерительной информации.

Личный вклад соискателя состоит: в построении математических и имитационных моделей; проведении численных экспериментов; в разработке и создании программно-аппаратного обеспечения; в личном участии при планировании и проведении экспериментов; в обработке и анализе их результатов; в личном участии при подготовке публикаций по теме диссертации. Постановка цели и задач теоретических и экспериментальных исследований, выбор приоритетов и методов исследований проводились совместно с научным руководителем. Публикации проводились совместно с научным руководителем и соавторами, при этом вклад соискателя был определяющим.

На заседании 1 марта 2024 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические и методические разработки по созданию инструмента для ускоренного изучения прочностных характеристик композитных пломбирочных материалов, имеющие существенное значение для развития страны в области материаловедения и терапевтической стоматологии, присудить Кириллову Андрею Игоревичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 17 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 17, против - нет.

Председатель
диссертационного совета



Вячеслав Борисович Дементьев

Ученый секретарь
диссертационного совета

Татьяна Михайловна Махнева

04.03.2024 г.