ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.02,

созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

аттестационное дело N _____

решение диссертационного совета от 16 октября 2026 г., № 10

О присуждении Совину Кириллу Владимировичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация на тему **«Разработка радиочастотных методов исследования обратимых и необратимых изменений в биологических тканях при термическом воздействии»** принята к защите 17 апреля 2026 г., протокол № 06, диссертационным советом 24.1.111.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая, д. 11, корп. 7) (приказ Рособрнадзора о создании совета № 2397–1958 от 21.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 714/нк от 02.11.2012 г.).

Соискатель Совин Кирилл Владимирович, 1998 года рождения, в 2022 году окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», по направлению подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика, диплом магистра. С 2022 по 2026 гг. освоил программу аспирантуры в том же учреждении, где в период с 03.06.2025 по 13.06.2025 сдал кандидатские экзамены по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Работает в лаборатории № 278 «Радиофизических измерений» Фрязинского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в должности инженера.

Диссертация выполнена на кафедре фотоники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ). Имеется положительное заключение организации по диссертационной работе (от 4 февраля 2026 г.), принятое на заседании кафедры фотоники МФТИ (протокол № 1 от 4 февраля 2026 г.), подписанное заведующим кафедрой фотоники МФТИ, к.ф.-м.н. Д.В. Мясниковым и утверждённое проректором по научной работе МФТИ, к.ф.-м.н. В. А. Баганом.

Научный руководитель: Коваленко Никита Валерьевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией в АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы.

Официальные оппоненты:

Черкасова Ольга Павловна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории терагерцовой фотоники, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук.

Юрченко Станислав Олегович, доктор физико-математических наук, декан факультета «Биомедицинская техника», профессор кафедры ФН-4 «Физика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур РАН, **в своем положительном отзыве**, подписанном к.ф.-м.н., Д.С. Ситниковым, заведующим лабораторией лазерного воздействия и утвержденном директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур РАН д.ф-м.н., академиком РАН О.Ф. Петровым, **отметила**, что тема диссертации К.В. Совина представляет законченное научное исследование, содержащее решение научной задачи: разработка методов исследования обратимых и необратимых изменений в биологических тканях при их единовременном протекании в условиях однородного разогрева лазерным излучением на основе измерения их электрических свойств. Полученные результаты достоверны, обладают научной значимостью и новизной.

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, из которых 2 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов, 4 статьи входят в библиографические и реферативные базы данных Web of Science и (или) Scopus, 6 работ опубликовано в трудах международных и всероссийских научных конференций. Общий объем опубликованных работ составляет 3,89 печ.л:

1. Коваленко Н. В. Математическое моделирование электрической проводимости биологических тканей на основе уравнений электродиффузии ионов / Коваленко Н. В., Совин К. В., Рябушкин О. А. //Нелинейный мир. – 2021. – Т. 19. – №. 2. – С. 10-13.
2. Mathematical model of electrical conductivity of biological tissues based on ion electrodiffusion equations / Kovalenko N. V., Sovin K. V., Shamankov N. O., Ryabushkin O. A. //Journal of Physics: Conference Series. –2021. – Vol. 1730. – №. 1. – P. 012018.
3. Radiofrequency impedance spectroscopy of biological tissues under heating by homogeneous laser radiation / Sovin K., Kovalenko N., Anpilov V., Ryabushkin O. //Biomedical Physics & Engineering Express. – 2022. – Vol. 8. – №. 5. – P. 055013.
4. Radiofrequency impedance monitoring of the biological tissues under local heating by optical radiation / Kovalenko N., Sovin K., Malikova T., Smirnov A., Anpilov V., Ryabushkin O. //Journal Of Biophotonics – 2022. – Vol. 15. – №. 11. – e202200114.
5. Радиочастотная спектроскопия биологической ткани при локальном воздействии лазерным излучением / Коваленко Н. В., Совин К. В., Рябушкин О. А. //Нелинейный мир. – 2022. – Т. 20. – №. 2. – С. 15-18.
6. Sovin K. Modulation of optical heating during hyperthermia for the separation of reversible and irreversible changes in biological tissues / Sovin K., Kovalenko N., Ryabushkin O. // Journal of Thermal Biology. – 2025. – Vol. 131. – P. 104192.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:

– Государственного бюджетного учреждения здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского» (ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского) от к.ф.-м.н. А.П. Тарасова (замеч.: опущены способ гомогенизации излучения, информация о наличие контроля за массой образца и обсуждение правомерности экстраполяции параметров деградации для куриной печени на ткани человека; замечания к формулировкам и опечаткам)

– Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ) от к.б.н. В.А. Цвелой (замечаний нет)

– Фрязинского филиала государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской Академии Наук (ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН) от к.ф.-м.н. А.В. Коняшкина (замеч.: не пояснена различная длина волны лазерных источников и разброс полученных параметров для разных образцов; замечания к обозначениям).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что назначенные советом официальными оппонентами по диссертации К.В. Совина ученые широко известны своими достижениями в данной отрасли науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации

– доктор биологических наук **О.П. Черкасова** – известный специалист в области терагерцовой фотоники и взаимодействия излучения с биологическими объектами;

– доктор физико-математических наук **С.О. Юрченко** – один из ведущих в России специалистов в области биомедицинской техники и физики взаимодействия излучения с биотканями;

– ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур РАН, широко известна своими исследованиями в области теплофизики, физики высоких температур, взаимодействия лазерного излучения с веществом и биологическими тканями. Работы её сотрудников в области оппонируемой диссертации свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработан и апробирован радиочастотный метод исследования термической деградации биологических тканей, основанный на однородном объемном нагреве образцов рассеянным оптическим излучением ближнего ИК-диапазона. Метод включает оригинальную методику разогрева, сканирование спектра импеданса, анализ на основе модели Коула-Коула и определение параметров кинетики по формализму Аррениуса.
2. Разработан и реализован модуляционный метод РЧ-импедансометрии, позволяющий в явном виде разделить обратимые (температурные) и необратимые (структурные) составляющие изменения электрических свойств ткани в ходе её термической деградации. Впервые получена экспериментальная зависимость температурного коэффициента модуля адмиттанса в области активного протекания процесса деградации, показавшая его непостоянство и монотонное уменьшение с ростом температуры более чем в 4 раза.
3. Методами математического моделирования доказано, что пространственная неоднородность распределения температуры существенно влияет на точность восстановления параметров Аррениуса. Показано преимущество

оптического объемного разогрева перед конвективными методами, основанными на нагреве через поверхность образца.

4. На основе модуляционного метода получены уточненные параметры кинетики деградации ткани куриной печени по Аррениусу: $\ln A = 48{,}5 \pm 3{,}8$ $\ln(c^{-1})$, $T_{cr} = 101 \pm 2$ °C. Сравнение с немодуляционным методом обработки (с экстраполяцией температурной зависимости) показало, что пренебрежение изменением температурного коэффициента проводимости приводит к систематическому занижению T_{cr} и завышению $\ln A$.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: предложенный и реализованный в рамках данной работы радиочастотный метод исследования термической деградации с разделением обратимых и необратимых изменений может быть использован для получения параметров деградации биологических тканей для моделей предоперационного планирования лечения с применением термической абляции. Реализованная математическая модель, оценивающая влияние степени неоднородности разогрева биологических образцов на точность определения их параметров деградации, позволяет исследователям подобрать геометрические размеры образцов и мощность/температуру источника разогрева для получения корректных величин этих параметров.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что на базе полученных результатов измерений взаимодействия электромагнитных полей и излучения с биологическими средами, обладающими частотно-зависимыми электрическими и диэлектрическими свойствами, разработаны методы и алгоритмы, которые могут быть использованы для получения параметров деградации биологических тканей для предоперационного планирования лечения с применением термической абляции. Предложенный способ обработки экспериментальных зависимостей проводимости и температуры позволяет в явном виде получить величину частной производной проводимости от температуры в области температур, соответствующих активному протеканию процесса деградации. Предложенная методика применима для исследования других типов кровонасыщенных тканей (мозга, сердца, легких, почек), поскольку они имеют схожие электрические, оптические и термодинамические свойства.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: полученные научные результаты имеют строгое математическое обоснование, а результаты численных расчётов подтверждаются сопоставлением с результатами известных экспериментов и модельных расчётов. Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждается воспроизводимостью экспериментальных результатов и проведенным сопоставлением с данными из литературы. Полученные результаты рассмотрены в ходе обсуждений на научных семинарах и конференциях, а также имеют положительные рецензии при их публикации в научных журналах. Полученные экспериментальные зависимости согласуются с ранее опубликованными исследованиями. Оценка точности определения параметров кинетики деградации, используемая в алгоритмах обработки, учитывает погрешности измерений.

Личный вклад соискателя состоит в планировании и постановке экспериментов, получении экспериментальных данных, обработке и

интерпретации результатов, что было сделано либо лично автором, либо сделано при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации в рамках дискуссии членами диссертационного совета была дана высокая оценка уровню работы и отмечено, что работа существенно дополняет и обогащает знания о радиочастотных методах исследования биологических тканей при термическом воздействии.

Членами совета были заданы вопросы о месте выполненного исследования в контексте современной науки, о параметрах экспериментальных установок, о дальнейших перспективах применения разработанного метода, о физической природе α-, β- и γ-дисперсий, о вкладах действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости в измеряемые величины, о возможности расширения метода на другие типы биологических тканей. Соискатель дал ответы и необходимые пояснения, которые совет посчитал удовлетворительными.

Соискатель Совин К.В. дал исчерпывающие комментарии на вопросы и замечания оппонентов и ведущей организации. Согласился с замечаниями, касающимися оформления текста диссертации и автореферата.

Диссертационная работа Совина К.В. является законченной научно-квалификационной работой, которая удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 16 октября 2026 г. диссертационный совет за разработку радиочастотных методов исследования обратимых и необратимых изменений в биологических тканях при термическом воздействии на них, что имеет большое научное и практическое значение, принял решение присудить Совину К.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 13 человек, из которых 7 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, академик РАН Черепенин В.А.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, профессор РАН Кузьмин Л.В.

16 октября 2026 г.

Подписи Черепенина В.А., Кузьмина Л.В. удостоверяю,
ученый секретарь ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН Чусов И.И.