«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор РТУ МИРЭА

_____ Н.И. Прокопов

«11» февраля 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» на диссертационную работу Денисова Романа Андреевича «Нетепловое воздействие мощных электромагнитных импульсов на биологические среды», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.4. Радиофизика

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Денисова Р.А. посвящена исследованию особенностей и эффектов нетеплового воздействия мощными электрическими импульсами на биологические среды в экспериментах *in vitro* и *in vivo*. Изучение волновых радиофизических эффектов, оказывающих электромагнитное воздействие на биологические среды – одно из перспективных направлений в области создания клинической биомедицинской радиоэлектроники. Как известно, исследования по воздействию маломощных непрерывных радиочастотных излучений различных диапазонов на человека ведутся достаточно давно. Однако за последние годы активное развитие получили работы по воздействию высоковольтными ультракороткими электромагнитными импульсами на материальные среды органического происхождения.

Так, в зарубежной литературе указывается, что ультракороткие импульсы вызывают в биологических клетках электропорацию (явление увеличения проницаемости клеточной мембраны при образовании в ней пор под влиянием электрического поля высокой амплитуды), благодаря чему инициируются различные механизмы клеточной уязвимости под воздействием электромагнитного облачения. Исследуется возможность применения ультракоротких видеоимпульсов в клинической медицине, в частности, для терапии онкологических заболеваний, обусловленных повреждениями клеточной ДНК ввиду влияния внешних факторов риска и естественных процессов геронтологии.

Тем не менее, есть основания полагать, что при облучении малигнизированных клеток мощными ультракороткими видеоимпульсами возможна не только

электропорация, но и другие эффекты, связанные прежде всего с нетепловым воздействием. Главной особенностью радиофизического механизма нетеплового воздействия является то, что характерное время закрытия пор клеточной мембраны имеет один порядок с длительностью подаваемого наносекундного импульса (в то время как в случае обратимой электропорации характерное время закрытия пор значительно больше). В связи с этим представленная работа является логическим продолжением вышеуказанных исследований академика РАН Н.Д. Девяткова – одного из основоположников отечественной СВЧ-электроники и медицинской радиофизики, в т.ч. опирающейся на эффекты нетеплового воздействия. Таким образом, актуальность диссертационной работы не вызывает никакого сомнения.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа Денисова Р.А. состоит из списка сокращений и условных обозначений, введения, трех глав, заключения, а также списка использованной литературы.

Во **введении** содержится обоснование актуальности темы и описывается степень ее общей разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, описываются научная новизна, теоретическая и практическая значимость, указаны личный вклад автора, достоверность и апробация исследований, а также представлены основные положения, выносимые на защиту с изложением краткого содержания работы.

В **главе 1** представлен подробный обзор отечественной и зарубежной литературы по теме нетеплового воздействия мощными импульсами ультракороткой (наносекундной и субнаносекундной) длительности на биологические среды. Указываются основные современные достижения радиофизических и биомедицинских исследований в области, а также тенденции научно-практического развития по одноименной тематике.

В **главе 2** описывается экспериментальная установка на основе высоковольтного генератора наносекундных импульсов, созданная для нетеплового воздействия на различные биологические объекты. Показаны результаты моделирования переходных процессов, происходящих при воздействии на объекты на этой установке, и численно оцениваются характерные физические величины.

В **главе 3** описывается проведение биомедицинских экспериментов *in vitro* и *in vivo* на приведенной в работе схеме установки и представляются их результаты.

В **заключении** приведены основные выводы проведенной диссертационной работы:

разработана схема и реализована экспериментальная установка, предназначенная для нетеплового воздействия мощными электрическими импульсами наносекундной длительности на биологические объекты. Представлены конструкции

вариантов нагрузок, позволяющие применять нетепловое воздействие для обработки биологических объектов в экспериментах *in vitro* и *in vivo*;

составлены радиофизические схемы различных вариантов конструкций эксперимента на указанной установке, с помощью которых оценены характерные физические величины амплитуды, мощности и энергии импульса на биологическом объекте. Отмечено изменение формы треугольного импульса на нагрузке с монополярной на биполярную, а также падение амплитуды на 1-2 порядка;

произведены численные оценки изменения трансмембранного потенциала в клетке, а также критических значений напряжённости электрического поля и энергии, необходимых для образования электропорационных каналов в мембране. Проведённые оценки показывают, что мощные наносекундные импульсы реализованной экспериментальной установки не вызывают электропорацию в мембранах клеток при нетепловом воздействии. Однако, учитывая разнообразие электрофизических характеристик живых клеток, это предмет специального исследования, выходящего за рамки настоящей работы;

численно оценено двумя способами увеличение температуры на объекте, происходящее при воздействии. На основании численных оценок на основе моделирования радиофизических эквивалентных схем, а также экспериментальных данных динамической термографии сделан вывод, что нагрев объекта при обработке незначителен;

продемонстрировано наличие противоопухолевого эффекта нетеплового воздействия в экспериментах *in vitro* и *in vivo*. Определены эффективные режимы воздействия с терапевтическим эффектом. Показано влияние параметров воздействия на общую эффективность процедуры как отдельно нетепловым воздействием импульсами, так и совместно со средством химиотерапии Цисплатин-Тева. При совместном применении Цисплатина-Тева и нетеплового воздействия в определённых режимах выявлен синергетический эффект, повышающий результативность комбинированной обработки в сравнении с отдельным применением двух методов.

Автореферат диссертации полностью отражает основное содержание диссертации, отвечающей паспорту заявленной научной специальности 1.3.4. Радиофизика.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации Денисова Р.А. результатов не вызывают сомнений и обеспечиваются согласованностью аналитических оценок, а также результатов численного моделирования и экспериментальных исследований, выполненных в ходе работы. Результаты, полученные в диссертации, прошли апробацию в ходе публикации в рецензируемых журналах и на научных конференциях и семинарах.

Основные результаты и положения диссертационной работы изложены в 5 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, в т.ч. 1 статья – в журнале Scopus, 2 статьи – в научных журналах из перечня ВАК по заявленной научной специальности, 3 статьи – в научных журналах, входящих в «Белый список» (уровень 1), из них – 5 статей, индексируемых RSCI, а также 4 докладах, опубликованных в сборниках научных трудов международных и всероссийских конференций и семинаров.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе Денисова Р.А. рассматриваются эффекты воздействия электромагнитных видеоимпульсов с длительностью в наносекундном диапазоне, что соответствует обозначенной в научных работах тенденции на укорочение длительности импульсов при подобной обработке сигналов воздействия.

Работа Денисова Р.А. направлена на получение новых результатов в области научно-практического исследования радиофизического эффекта нетеплового воздействия видеоимпульсного наносекундного электромагнитного воздействия на онкологические образования. Отличительной особенностью работы является использование радиофизических методов исследования как к процессу постановки экспериментов, так к их анализу. В работе используется радиочастотный диапазон значений электрической напряженности поля, что и в работах других авторов, однако с меньшей длительностью импульсов и большей частотой повторения. Представлены результаты экспериментов *in vivo* на лабораторных мышах с привитыми опухолями различного генеза, в то время как работы по подобному методу воздействия как в России, так и за рубежом проводились в основном на растворах клеток. Все полученные результаты являются новыми.

Научная и практическая ценность работы

Представленные в диссертационной работе Денисова Р.А. эмпирические результаты, полученные при проведении опытов на реализованной экспериментальной установки, подтверждают данные о нетепловом воздействии мощными наносекундными импульсами на онкологические образования. Эмпирически установлены конкретные радиофизические режимы нетеплового воздействия электромагнитных импульсов с оптимальными параметрами, имеющие биологически значимое разрушительное влияние на малигнизированные клетки. Таким образом, научная и практическая значимость работы не вызывают сомнений.

Рекомендации по использованию результатов

Полученные основные результаты диссертационного исследования Денисова Р.А. могут быть рекомендованы к научно-практическому внедрению в следующих организациях, в т.ч. охватывающих спектр прикладных областей биомедицинской электроники и радиофизики: Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, АО «НПП «Исток» им. Шокина», Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ООО «Научно-производственное предприятие «ИТЭЛМА», АО «НИПК «Электрон», АО «Русатом Хэлскеа», Институт биоорганической химии имени М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, а также других профильных НИИ, вузах и предприятиях, занимающихся исследованиями, производством и опытными испытаниями радиочастотных систем и технологий для клинической биомедицины.

Замечания по работе

– Работа по большей части экспериментальная, теоретических исследований сравнительно меньше. В теоретическом плане, для предложенной модели эксперимента, было бы полезным дополнительное рассмотрение спектров комбинированной импульсной последовательности.

– В работе приведены только характеристики и формы импульсов на входе в систему, в то время как реальные поля видеоимпульсов, наводимые в неоднородной диэлектрической структуре биологического объекта, в эксперименте не отображены.

– При описании построенных эквивалентных электрических схем не упомянуты и не отображены возможные паразитные реактивности в линии.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не являются критическими, не снижают значимости полученных основных эмпирических результатов и не влияют на общую достойную положительную оценку диссертационной работы соискателя.

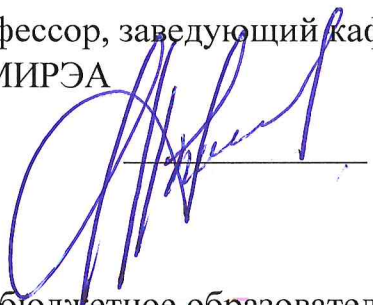
Заключение

Диссертационная работа Денисова Р.А. на тему «Нетепловое воздействие мощных электромагнитных импульсов на биологические среды» представляет значимый вклад в развитие радиочастотных систем и технологий для клинической биомедицины. Эмпирически полученные результаты при выбранных режимах воздействия наносекундных импульсов на биологические объекты способны заложить основу развития методов импульсного наносекундного нетеплового воздействия на малигнизированные клетки для эффективного лечения онкологических заболеваний.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертационная работа Денисова Р.А. «Нетепловое воздействие мощных электромагнитных импульсов на биологические среды» представляет собой законченное научное исследование, по стилю системного изложения и объему результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов, удовлетворяющее требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям – п.9 «Положения о присуждении научных степеней», а ее автор Роман Андреевич Денисов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.4. Радиофизика.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании кафедры радиоволновых процессов и технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (протокол №2610 от 20.10.2026 г.).

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоволновых процессов и технологий РТУ МИРЭА



_____ Костин Михаил Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»
(РТУ МИРЭА), 119454, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78,

тел. +7 499 600-80-80 доб. 2053, e-mail: mirea@mirea.ru

Сведения о ведущей организации

по диссертационной работе Денисова Романа Андреевича «Нетепловое воздействие мощных электромагнитных импульсов на биологические среды», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика»

Полное и сокращённое наименование	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА)
Почтовый адрес	119454, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78
Телефон	+7 499 600-80-80 доб. 20563
Факс	+7 495 434-92-87
Адрес электронной почты	mirea@mirea.ru
Адрес сайта в сети «Интернет»	https://www.mirea.ru/
Список публикаций работников организации в рецензируемых научных изданиях по теме защищаемой диссертации за последние 5 лет	1. Латышев К. В., Костин М. С., Бойков К. А. Формирование радиовизионных сигналов спектральной сатурацией в режиме переходных искажений интегральных сверхвысокочастотных усилителей для систем распознавания жестов //Russian Technological Journal. – 2026. – Т. 14. – №. 2. – С. 57-68. 2. Шильцин А. В., Костин М. С. Моделирование электрооптического повторителя субнаносекундных радиоимпульсов //Russian Technological Journal. – 2022. – Т. 10. – №. 1. – С. 50-59. 3. Шильцин А.В., Костин М.С. Моделирование прохождения радиоотклика через электрооптические повторители сверхкоротких радиоимпульсов// Радиотехника и электроника. – 2022. – Т. 67. – № 11. – С. 1110-1115 4. Рагимханова З.Г., Рагимханов Г.Б., Гаджимагомедов С.Х., Малахов Д.В., Соколов А.С., Воронова Е.В., Скворцова Н.Н., Гусейн-заде Н.Г. Одификация нанопорошка феррита висмута $BiFeO_3$ под воздействием мощного импульсного СВЧ-излучения гиротрона.// Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2025. – Т. 52. – № 7. – С. 29-38. 5. Ахмадуллина Н.С., Скворцова Н.Н., Шишилов О.Н., Гусейнзаде Н.Г., Образцова Е.А., Борзосеков В.Д., Кончеков Е.М., Малахов Д.В., Степахин В.Д., Шварц А.Л. Применение сверхмощных импульсов микроволнового излучения для обработки PD/AL2O3 катализаторов дегидрирования циклоалканов// В сборнике: РОСКАТАЛИЗ. Сборник тезисов

	докладов IV Российского конгресса по катализу. – Новосибирск, 2021. – С. 678-679. 6. Логинов В.И., Губенко М.С., Бурдённый А.М., Пронина И.В., Постников П.В., Ефимова Ю.А., Радус Ф.В., Мочалова Е.С., Казубская Т.П. Метилирование группы генов микроРНК как маркер диагностики и прогноза немелкоклеточного рака легкого //Тонкие Химические Технологии. – 2024. – Т. 19. – №. 3. – С. 232-239. 7. Шмендель Е.В., Буянова А.О., Марков О.В., Морозова Н.Г., Зенкова М.А., Маслов М.А. Новые катионные углеводсодержащие амфифилы и липосомы на их основе для эффективной доставки коротких нуклеиновых кислот в эукариотические клетки//Биоорганическая химия. – 2024. – Т. 50. – № 6. – С. 826-841. 8. Мирошниченко С.К., Патутина О.А., Купрюшкин М.С., Марков А.В., Маслов М.А., Зенкова М.А. Исследование биологической активности и механизма действия анти-миРНК мезильных олигонуклеотидов на линиях клеток колоректального рака мыши и человека // В сборнике: Физико-химическая биология. Материалы V всероссийской конференции, приуроченной к 40-летию ИХБФМ СО РАН – Новосибирск, 2024. – С. 98. 9. Матюхин В.Ф., Золотарева М.С. Проблемные вопросы резонансного взаимодействия электромагнитного излучения со сложными нано биологическими объектами //В сборнике: Лазеры в науке, технике, медицине. Сборник научных трудов XXXIV Международной конференции. – Москва, 2024. – С. 42-50. 10. Miroshnichenko S., Demirel R., Moralev A., Almieva O., Markov A., Burakova E., Stetsenko D., Maslov M., Vlassov V., Zenkova M. Reversing the Irreversible: MiRNA-Targeting Mesyl Phosphoramidate Oligonucleotides Restore Sensitivity to Cisplatin and Doxorubicin of KB-8-5 Epidermoid Carcinoma Cells //Biomedicines. – 2025. – Т. 13. – №. 12. – С. 3118.