

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

государственного научного учреждения
«Объединенный институт энергетических
и ядерных исследований – Сосны»

Национальной академии наук Беларуси
кандидат физико-математических наук,
доцент



А. В. Кузьмин

_____ 2026 г.

ОТЗЫВ

оппонирующей организации о диссертационной работе

Петкевича Максима Николаевича

«Технические средства контроля и оценки параметров индивидуальных планов динамической лучевой терапии» по специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки)

Экспертиза диссертации проводилась в соответствии с требованиями «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь», утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560 (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 01.12.2011 № 561), и «Положения о совете по защите диссертаций», утвержденного постановлением Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 22.02.2005 № 19 (в ред. постановлений ВАК от 07.03.2007 №2, от 21.08.2007 № 5, от 08.06.2009 № 1, от 15.06.2015 № 1).

Диссертация Петкевича Максима Николаевича выполнена в учреждении образования «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета под научным руководством доктора технических наук, профессора Тарутина Игоря Германовича.

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Содержание диссертационной работы Петкевича М.Н. «Технические средства контроля и оценки параметров индивидуальных планов динамической лучевой терапии» соответствует специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения и отрасли технические

науки, пункту 3.1 паспорта специальности 05.11.17 – разработка и создание приборов, систем и изделий медицинского назначения для диагностики и лечения человека, которые рассматриваются как средства восстановления нарушенной поливариантной системы, представленной различными моделями (математической, физико- и биотехнической, механической энергетической, химической, электрохимической моделью и т.д.), и направлены на решение научных и технических задач здравоохранения, включая оценку воздействия ионизирующего излучения и обработку медико-биологической информации.

В диссертационной работе рассматриваются методы и технические средства дозиметрического обеспечения, оценки и контроля параметров планов динамической лучевой терапии, направленные на повышение точности и достоверности подведения поглощенной дозы к целевому объему облучения. Представленные математические модели, экспериментальные методики и разработанные автором технические решения относятся к области медицинской техники и медицинского приборостроения, носят выраженный инженерно-технический характер и основаны на применении методов математического моделирования, экспериментальных исследований и анализа расчетных и измеренных дозовых распределений; медико-биологические аспекты затрагиваются в объеме, необходимом для корректного решения инженерных и метрологических задач.

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

Диссертационное исследование Петкевича М.Н. посвящено решению актуальной научно-прикладной задачи в области лучевой терапии, связанной с повышением точности и достоверности дозиметрического обеспечения и контроля параметров индивидуальных планов динамической лучевой терапии в условиях дыхательной подвижности внутренних органов и флуктуаций радиационного выхода линейного ускорителя электронов.

Научный вклад соискателя заключается в следующем:

1. Установлении количественных закономерностей геометрических искажений визуализируемого объема патологических очагов на ПЭТ/КТ-изображениях в зависимости от параметров дыхательной подвижности и размеров очага.

Значимость: впервые получены количественные зависимости, позволяющие перейти от качественного учета дыхательных смещений к их формализованному описанию при планировании лучевой терапии.

2. Разработке и верификации трехмерной математической модели дыхательных искажений ПЭТ/КТ-визуализации и реализация принципов

учета дыхательной подвижности при дозиметрическом планировании динамической лучевой терапии.

Значимость:

– предложенная модель расширяет возможности прогнозирования и компенсации дыхательных искажений при формировании планов облучения и повышает достоверность расчетных дозовых распределений.

– измерительно-вычислительный комплекс с адаптивным пересчетом кросс-калибровочного коэффициента учитывает флуктуации радиационного выхода линейного ускорителя электронов.

– реализация адаптивного подхода к нормировке измерений повышает точность сопоставления расчетных и измеренных дозовых распределений при верификации планов динамической лучевой терапии и совершенствует процедуры дозиметрического контроля качества облучения.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Диссертационная работа Петкевича М.Н. «Технические средства контроля и оценки параметров индивидуальных планов динамической лучевой терапии» соответствует п. 21 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий» и содержит новые научные результаты по актуальному научному направлению, связанному с установлением количественных закономерностей дыхательных искажений ПЭТ/КТ-визуализации, разработкой и верификацией математической модели учета дыхательной подвижности, а также созданием технических средств дозиметрического обеспечения и верификации планов динамической лучевой терапии.

Ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки) может быть присуждена за новые научно обоснованные результаты, включающие:

1. Впервые установленные количественные зависимости геометрических искажений ПЭТ/КТ-визуализации, полученные с использованием разработанной экспериментальной установки, имитирующей дыхательные смещения патологических очагов в диапазоне амплитуд 6-24 мм и частот 12-20 циклов/мин, отличающейся от существующих решений возможностью моделирования нескольких очагов, учетом вариабельной метаболической активности и синхронизацией по дыхательной фазе.

2. Впервые разработана трехмерная математическая модель дыхательных искажений ПЭТ/КТ-изображений патологических очагов, отличающаяся от существующих решений учетом пространственно-временной динамики дыхательных движений пациента, спецификой визуализации радиофармацевтических препаратов и обеспечивающая воспроизводимое прогнозирование искажений с относительной погрешностью $2,1 \% \pm 1,1 \%$.

3. Впервые разработан метод адаптивного пересчета кросс-калибровочного коэффициента, отличающийся использованием структурно-избыточной схемы регистрации дозы ионизирующего излучения и учетом флуктуаций радиационного выхода линейного ускорителя, обеспечивающий метрологически прослеживаемое повышение точности нормировки и прирост γ -соответствия дозовых распределений на 2,9-3,0 % при критерии 3 %/3 мм.

4. Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации

Результаты диссертационной работы Петкевича М.Н., включая разработанные экспериментальные средства, математические модели и измерительно-вычислительные решения, рекомендуются к практическому использованию в радиотерапевтических подразделениях учреждений здравоохранения, осуществляющих планирование, верификацию и контроль качества процедур динамической лучевой терапии, в частности:

– разработанная экспериментальная установка, предназначенная для имитации дыхательной подвижности патологических очагов внутренних органов пациента, рекомендуется к использованию в научно-исследовательских и клинических подразделениях, выполняющих анализ и валидацию методов ПЭТ/КТ, а также обработку экспериментальных данных при исследовании геометрических искажений визуализации в условиях дыхательных смещений. Применение установки обеспечивает воспроизводимость параметров движения и позволяет получать количественные зависимости, используемые при оценке влияния дыхательной подвижности на точность визуализации и дозиметрического планирования;

– разработанная и верифицированная трехмерная математическая модель дыхательных искажений ПЭТ/КТ-изображений рекомендуется к использованию в системах дозиметрического планирования для учета пространственно-временных смещений патологических очагов и повышения обоснованности принимаемых планировочных решений, а также для повышения достоверности расчетных дозовых распределений;

– предложенный метод адаптивного пересчета кросс-калибровочного коэффициента и разработанный измерительно-вычислительный комплекс

рекомендуются к использованию при проведении процедур дозиметрической верификации планов облучения в радиотерапевтических отделениях. Применение структурно избыточной измерительной схемы и учет флуктуаций радиационного выхода линейного ускорителя электронов обеспечивают повышение точности нормировки измерений и достоверности расчетно-измерительного сопоставления дозовых распределений.

Таким образом, результаты диссертационной работы Петкевича М.Н. могут служить технологической и методической основой для совершенствования процедур дозиметрического планирования, верификации и контроля качества при проведении динамической лучевой терапии.

5. Замечания по диссертации.

1. Из текста диссертации не ясно, учитывались ли индивидуальные характеристики дыхательных фаз циклов пациентов при проведении калибровки самого метода и технических устройств.

2. Чем можно объяснить большие различия в процентах (от 0,94 до 26 при Бетта ПЭТ и 2-50 при Бетта КТ) в таблице Е1 в абсолютных и относительных неопределенностях визуализируемого объема.

3. В какой степени предложенный метод и технические устройства справедливы при единичной опухоли и множественных опухолях.

6. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Диссертация Петкевича М.Н. является квалификационной научной работой по специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения. Автореферат и опубликованные научные работы соискателя соответствуют содержанию диссертационного исследования.

Диссертационная работа Петкевича М.Н. соответствует требованиям пункта 26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190). В диссертации приведены ссылки на источники, материалы которых использованы при выполнении исследования, а также ссылки на собственные публикации и публикации в соавторстве, в которых отражены основные результаты диссертационной работы. Заимствования в диссертационной работе оформлены корректно, а высокие показатели оригинальности (95,08 %) и низкий уровень совпадений (1,5) свидетельствуют о самостоятельном характере выполненного исследования. Выявленные совпадения в основном связаны с допустимым самоцитированием автора.

Диссертационная работа Петкевича М.Н. представляет собой самостоятельно выполненное законченное научное исследование,

обладающее научной новизной и практической значимостью. Совокупность полученных научных результатов, уровень их обоснованности, а также объем и качество опубликованных работ полностью отвечают требованиям, предъявляемым к соискателю ученой степени кандидата технических наук.

Изложение материала, обоснованность сделанных в работе выводов, их научный уровень и практическая значимость позволяют заключить, что соискатель является квалифицированным специалистом, и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Проект отзыва по диссертационной работе Петкевича Максима Николаевича подготовлен доктором технических наук, профессором Трифоновым Александром Георгиевичем, назначенным экспертом от научного учреждения «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси (приказ от 22.01.2026 № 56), заслушан и обсужден на заседании ученого совета (протокол от 05 февраля 2025 года № 1), где соискатель Петкевич М.Н. выступил с научным докладом и дал полные, исчерпывающие ответы на заданные научным сообществом вопросы.

На заседании присутствовали 2 докторов и 6 кандидатов, из них: 2 доктора технических наук, 3 кандидата технических наук, 2 кандидата физико-математических наук и 1 кандидат биологических наук. Отзыв оппонировавшей организации после обсуждения принят открытым голосованием.

Результаты открытого голосования: «за» – 8, «против» – 0, «воздержались» – 0.

Председатель Ученого совета, кандидат физико-математических наук, доцент

А. В. Кузьмин

Ученый секретарь, кандидат биологических наук, доцент

Н. А. Маковская

Эксперт,
Заведующий лабораторией 29,
доктор технических наук, профессор

А. Г. Трифонов .