

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Петкевича Максима Николаевича

«Технические средства контроля и оценки параметров индивидуальных планов динамической лучевой терапии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения

### **1. Соответствие содержания диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите**

Содержание диссертационной работы Петкевича М. Н. соответствует паспорту специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения, а именно пункту 3.1 (разработка и создание приборов, систем и изделий медицинского назначения для диагностики и лечения человека, которые рассматриваются как средства восстановления нарушенной поливариантной системы, представление которой возможно математической, физико- и биотехнической, механической моделью, а также энергетической, физико-химической, химической, электрохимической моделью и т.д.).

Диссертация посвящена решению научно-прикладных задач, связанных с повышением точности функционирования технических систем, применяемых при реализации процедур динамической лучевой терапии пациентов с онкологическими заболеваниями, и включает в себя разработку экспериментальной установки, имитирующей дыхательные движения области анатомических структур пациента, подлежащей облучению; математической модели дыхательных искажений изображений, получаемых с использованием гибридной позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии (ПЭТ/КТ) и программный комплекс для моделирования и анализа результатов, что определяет ее принадлежность к отрасли технических наук.

### **2. Актуальность темы диссертации**

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью совершенствования методов и технических средств дозиметрического планирования и контроля параметров облучения в целях повышения эффективности лечения и радиационной безопасности пациентов с онкологическими заболеваниями при проведении процедур динамической лучевой терапии. Существующие в настоящее время технологии облучения не в полной мере отвечают современным требованиям к точности дозиметрического планирования и достоверности контроля параметров облучения из-за таких трудно учитываемых факторов, как дыхательная подвижность внутренних органов пациента, приводящая к искажениям результатов ПЭТ/КТ-визуализации патологических очагов, и флуктуации радиационного выхода линейного ускорителя электронов, а также ограничений традиционных измерительных схем.

Следует также отметить, что диссертация Петкевича М. Н. соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2021–2025 и 2026–2030 годы.

Таким образом, растущие требования к эффективности лечения и радиационной безопасности пациентов с онкологическими заболеваниями обуславливают актуальность темы диссертационной работы.

### **3. Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту**

Новизна научных результатов диссертационной работы Петкевича М. Н. заключается в следующем:

1. Впервые установлены количественные зависимости, характеризующие влияние дыхательной подвижности пациента на результаты ПЭТ/КТ-визуализации патологических очагов, с использованием которых предложен формализованный подход к оценке геометрических искажений визуализируемого целевого объема, позволяющий перейти от качественного учета дыхательных смещений к их количественной характеристике.

2. Впервые разработана и верифицирована математическая модель дыхательных искажений ПЭТ/КТ-изображений патологических очагов внутренних органов пациентов, учитывающая пространственно-временную динамику дыхательной подвижности и специфику ПЭТ/КТ-визуализации указанных очагов, что позволяет обеспечить согласование данных визуализации с параметрами планируемого облучения.

3. Предложен метод адаптивного пересчета кросс-калибровочного коэффициента при верификации планов динамической лучевой терапии, отличающийся от известных методов учетом флуктуаций радиационного выхода линейного ускорителя, что позволяет повысить достоверность сопоставления расчетных и измеренных дозовых распределений при проведении дозиметрического контроля.

### **4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе Петкевича М. Н., логически вытекают из результатов исследования и полностью соответствуют цели и задачам.

Обоснованность выводов и рекомендаций обеспечивается использованием комплексного методического аппарата, включающего экспериментальные исследования, математическое моделирование и методы статистического анализа. В работе применены аппроксимационные и параметрические модели, корреляционный и статистический анализ, численные методы моделирования.

Сформулированные в диссертации выводы и рекомендации не противоречат современным представлениям в области медицинского приборостроения, дозиметрического и метрологического обеспечения медицинских технологий, а также медицинской физики лучевой терапии, и прошли апробацию в профильных научных изданиях и на научных конференциях.

Достоверность выводов подтверждается воспроизводимостью экспериментальных данных, верификацией разработанных математических

моделей на независимых экспериментальных и клинических данных, согласованностью расчетных оценок с результатами измерений и применением метрологически обоснованных измерительных схем при дозиметрической верификации планов динамической лучевой терапии.

Техническая состоятельность полученных результатов подтверждена их внедрением в клиническую практику профильных медицинских учреждений, а также наличием двух патентов на изобретения.

## **5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию**

**Научная значимость** работы заключается в развитии и обосновании методов количественной оценки визуализационных и дозиметрических неопределенностей, возникающих при динамическом облучении. Полученные в диссертации результаты расширяют существующие представления о влиянии дыхательной подвижности пациента на параметры ПЭТ/КТ-визуализации и обосновывают применение математических моделей и адаптивных измерительных подходов при формировании и анализе индивидуальных планов облучения.

**Практическая значимость** результатов определяется возможностью их применения в радиотерапевтических подразделениях при дозиметрическом планировании и верификации планов динамической лучевой терапии. Разработанные экспериментальные средства, математические модели и измерительно-вычислительные решения обеспечивают повышение воспроизводимости и достоверности дозиметрических оценок, а также позволяют учитывать влияние динамических и стохастических факторов, связанных с дыхательной подвижностью пациента и флуктуациями радиационного выхода линейного ускорителя электронов. Внедрение полученных результатов в клиническую практику профильных медицинских учреждений подтверждает их прикладную ценность и техническую реализуемость.

**Экономическая значимость** диссертационной работы связана с повышением эффективности использования радиотерапевтического оборудования за счет снижения неопределенностей при планировании и верификации облучения, что уменьшает количество повторных измерений и корректировок дозиметрических планов. Применение предложенных методов и технических решений способствует рациональному использованию ресурсов и оптимизации технологических процедур в радиотерапевтической практике.

**Социальная значимость** результатов обусловлена их направленностью на повышение эффективности и безопасности лучевой терапии онкологических пациентов. Повышение точности подведения поглощенной дозы к целевому объему облучения и снижение дозовых неопределенностей создают предпосылки для уменьшения лучевой нагрузки на окружающие анатомические структуры, повышения предсказуемости терапевтического эффекта и улучшения результатов лечения. В условиях роста заболеваемости онкологическими заболеваниями полученные результаты имеют существенное значение для системы здравоохранения и медицинской практики.

С учетом изложенного разработанные в диссертационной работе методы, модели и технические решения могут быть рекомендованы к использованию в радиотерапевтических подразделениях учреждений здравоохранения при дозиметрическом планировании, верификации и анализе параметров динамической лучевой терапии, а также в научно-исследовательских работах, направленных на дальнейшее развитие приборов и методов медицинского назначения в области радиотерапии.

#### **6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати**

По теме диссертации, опубликованы 24 научные работы, в том числе 5 статей в научных изданиях, соответствующих требованиям Положения 19 о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, 4 статьи в других научных изданиях, 7 статей в сборниках материалов конференций, 6 статей в сборниках тезисов докладов конференций, получены 2 патента на изобретения.

Опубликованные работы охватывают основные положения диссертационного исследования и отражают ключевые научные результаты, выносимые на защиту, включая вопросы учета дыхательной подвижности при ПЭТ/КТ-визуализации, математического моделирования визуализационных искажений, а также дозиметрической верификации планов динамической лучевой терапии.

Полнота и характер публикаций соответствуют требованиям, предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения.

#### **7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК**

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с Инструкцией о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации и Положением о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий. Объем диссертации соответствует установленным требованиям. Выводы отражают основные результаты работы.

#### **8. Замечания по диссертации**

Несмотря на высокий уровень представленной работы, можно сформулировать некоторые замечания, не влияющие на обоснованность полученных результатов и подлежащие учету в дальнейшей научной деятельности автора.

1. В диссертационной работе используется широкий круг терминов, относящихся к областям медицинского приборостроения, дозиметрического обеспечения и медицинской визуализации. В отдельных фрагментах текста представляется целесообразным более строгое единообразие терминологии, в частности при описании параметров визуализационных и расчетно-измерительных дозиметрических расхождений, что могло бы дополнительно повысить ясность изложения.

2. При описании математической модели дыхательных искажений ПЭТ/КТ-визуализации основное внимание уделено результатам моделирования и их верификации. При этом допущения и ограничения модели, связанные с вариацией клинических условий, могли бы быть выделены и структурированы более явно.

3. В разделе, посвященном дозиметрической верификации планов динамической лучевой терапии, основное внимание уделено оценке эффективности адаптивного пересчета кросс-калибровочного коэффициента. При этом более детальное структурирование результатов с учетом особенностей конфигураций дозиметрических полей могло бы способствовать их более наглядной интерпретации.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер, не снижают научной и практической значимости диссертационной работы и не влияют на обоснованность и достоверность полученных автором результатов.

## **9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

Диссертационная работа Петкевича Максима Николаевича «Технические средства контроля и оценки параметров индивидуальных планов динамической лучевой терапии» представляет собой самостоятельно выполненное, завершенное научное исследование и в полной мере соответствует требованиям паспорта специальности 05.11.17 – приборы, системы и изделия медицинского назначения, отрасли технических наук, а также требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Работа отличается актуальностью и научной обоснованностью, сочетает теоретические, экспериментальные и инженерно-технические исследования и направлена на решение социально значимой научно-прикладной задачи повышения точности и достоверности дозиметрического планирования и верификации динамической лучевой терапии, имеющей существенное значение для развития современной медицинской техники и практики лечения онкологических пациентов.

Петкевич М.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук за:

– установление воспроизводимых количественных зависимостей, характеризующих влияние дыхательной подвижности пациента на геометрические искажения результатов ПЭТ/КТ-визуализации патологических очагов, полученных на основе экспериментальных исследований с использованием специально разработанной движущейся установки;

– разработку и верификацию трехмерной математической модели, обеспечивающей количественную оценку дыхательных искажений ПЭТ/КТ-изображений и предназначенной для использования при дозиметрическом планировании динамической лучевой терапии;

– разработку и реализацию метода адаптивного пересчета кросс-калибровочного коэффициента при дозиметрической верификации планов динамической лучевой терапии, основанного на учете флуктуаций радиационного

выхода линейного ускорителя электронов и применении структурно избыточной измерительной схемы, обеспечивающего повышение достоверности расчетно-измерительного сопоставления дозовых распределений.

Официальный оппонент –  
ведущий научный сотрудник отдела систем  
активной безопасности и управления  
государственного научного учреждения  
«Объединенный институт машиностроения  
Национальной академии наук Беларуси»,  
кандидат технических наук



В. А. Дубовский

