

ПОДГОТОВКА МЕДИЦИНСКИХ ФИЗИКОВ НА БАЗЕ МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А.А. Кривушин, Т.Г. Авачева
Рязанский государственный медицинский университет
им. академика И.П. Павлова Минздрава России, Рязань

TRAINING OF MEDICAL PHYSICISTS BASED ON MEDICAL EDUCATION

A.A. Krivushin, T.G. Avacheva
Academician I.P. Pavlov Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia

Реферат

Цель: Обобщить опыт профессиональной переподготовки медицинских физиков на базе медицинского образования, а также проанализировать возникающие при этом организационные и методические особенности в контексте развития кадрового потенциала медицинской радиологии.

Материал и методы: В исследовании представлена структура реализуемой в РязГМУ программы переподготовки по направлению “Медицинская физика”, включающей девять модулей, охватывающих физические, технические и клинические аспекты. Особое внимание уделено заключительному этапу – стажировке на базе отделения радиотерапии. Применялись сравнительно-аналитический и нормативно-содержательный методы с опорой на данные профессионального взаимодействия с клиническими учреждениями и анализ зарубежных образовательных моделей.

Результаты: Анализ подтверждает возможность подготовки медицинских физиков в медицинском вузе при условии целевой интеграции технических дисциплин и обязательной практической стажировки. Выделены две образовательные траектории подготовки специалистов: техническая (традиционная) и медицинская (альтернативная), каждая из которых требует междисциплинарного усиления. Представлена схема маршрутизации подготовки и обозначены ключевые различия в профиле компетенций.

Заключение: Медицинское образование, дополненное профессиональной переподготовкой, может обеспечить эффективную подготовку медицинских физиков, способных к работе в клинических условиях. Практико-ориентированный подход, основанный на взаимодействии с действующими специалистами, является критическим элементом становления профессиональной идентичности. Представленный опыт может служить основой для масштабирования подобной модели в системе высшего медицинского образования.

Ключевые слова: медицинский физик, профессиональная переподготовка, медицинское образование, медицинская радиология, образовательная траектория, клиническая стажировка, нормативное регулирование

Abstract

Purpose: To summarize the experience of professional retraining of medical physicists based on medical education and to analyze the resulting organizational and methodological features in the context of developing human resources capacity in medical radiology.

Materials and methods: The study presents the structure of a professional retraining program in “Medical Physics” implemented at Ryazan State Medical University. The program comprises nine modules covering physical, technical, and clinical components. Special emphasis is placed on the final

stage of the program – clinical internship at a radiotherapy department. A comparative-analytical and regulatory-content analysis was conducted, supported by practical observations in cooperation with clinical institutions and a review of international training models.

Results: The analysis confirms the feasibility of training medical physicists within a medical university framework, provided that technical disciplines are purposefully integrated and supported by mandatory clinical internships. Two educational trajectories for medical physicist training are identified: the traditional (technical) and the alternative (medical), each requiring interdisciplinary enhancement. A schematic model of professional routing is proposed, with key differences in competence profiles outlined.

Conclusion: Medical education, supplemented by targeted professional retraining, can provide effective training for medical physicists capable of operating in clinical environments. A practice-oriented approach based on mentoring and interaction with experienced professionals is essential for the formation of professional identity. The experience presented may serve as a foundation for scaling this model within the system of higher medical education.

Key words: medical physicist, professional retraining, medical education, radiation medicine, educational trajectory, clinical internship, regulatory framework

E-mail: a.krivushinrsmu@mail.ru

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2025-107-3-75-84>

Введение

В последние годы в России формируется нормативная база для признания и стандартизации профессии “медицинский физик”. В 2023 г. вступил в силу приказ Минздрава РФ № 206н, утвердивший обновленные квалификационные требования к медицинским работникам с высшим образованием, включая должность “медицинский физик” [1]. Согласно этому приказу, специалистом–медицинским физиком может стать выпускник специалитета или магистратуры по направлению “Медицинская физика”, либо обладатель другого высшего образования (например, “Биотехнические системы и технологии”, “Инженерное дело в медико-биологической практике”, “Медико-профилактическое дело”, “Медицинская биофизика”, “Физика” и др.) при условии прохождения дополнительной профессиональной переподготовки по медицинской физике [1]. Данная нормативная основа отражает острую потребность системы здравоохранения в квалифицированных медицинских физиках.

По данным исследования СибГМУ, проведенного в рамках нацпроекта “Здравоохранение”, уже к 2021 г. в медицинских организациях России работал 351 медицинский физик при дефиците около 389 специалистов, то есть кадров не хватало более чем на 50 % [2]. Прогноз на 2025 г. предсказывал рост потребности до ~2200 медицинских физиков по стране [2]. Таким образом, проблема кадрового голода в этой сфере признана на государственном

уровне, и предпринимаются шаги для её решения. Ещё в 2012 г. должность медицинского физика была официально введена в номенклатуру должностей здравоохранения РФ, однако массовая подготовка таких специалистов долгое время оставалась неразвитой.

За рубежом обучение медицинских физиков исторически ведётся на технической базе: например, в США требуется окончание магистратуры или PhD по медицинской физике (аккредитованной CAMPER) с последующей резидентурой в клинике; в Европе национальные программы, координируемые EFOMP, как правило, включают степень по физике и двухлетнюю клиническую стажировку, что обеспечивает сопоставимый с врачами уровень компетенций. В Китае система подготовки медицинских физиков ориентирована преимущественно на технический профиль: около 95 % специалистов имеют базовое образование в области ядерной физики или биомедицинской инженерии, а 86 % из них сертифицированы Китайским обществом медицинской физики (CSMP) [3–5].

Образовательные траектории подготовки медицинских физиков

В настоящее время, согласно нашему анализу образовательной практики, в Российской Федерации можно выделить две устойчивые концепции подготовки медицинских физиков: традиционная – техническая, реализуемая че-

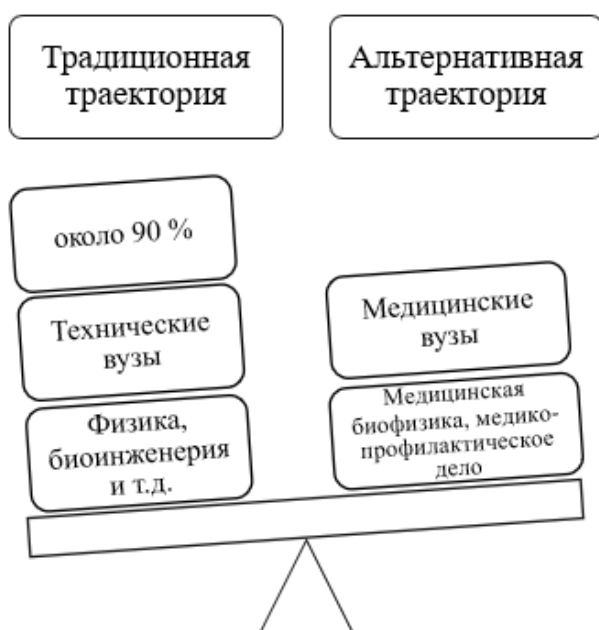


Рис. 1. Траектории подготовки медицинских физиков в России: традиционная и альтернативная (авторская интерпретация)

рез физические и инженерные университеты, и альтернативная – медицинская, основанная на базовом медицинском образовании (рис. 1).

Техническая траектория, представленная в таких вузах, как МГУ, МИФИ, ТПУ и других, обеспечивает выпускников фундаментальной физико-математической подготовкой, включающей ядерную физику, радиационные технологии, моделирование и инженерную механику [6, 7]. Вместе с тем, в условиях клинической практики может потребоваться дополнительное обучение, направленное на освоение медицинской терминологии, основ анатомии, физиологии и радиобиологии, а также развитие навыков взаимодействия с клинической командой [8].

Альтернативная траектория подготовки ранее была представлена преимущественно специальностью 30.05.02 “Медицинская биофизика”, реализуемой в ряде медицинских вузов. Хотя формально по этой специальности присваивается квалификация “специалист”, она признана нормативно допустимой для замещения врачебных должностей – в том числе “медицинского физика”. Программа сочетает естественнонаучные и биомедицинские дисциплины, формируя у выпускников клиниче-

ское мышление, но требует углубления физико-технической подготовки.

С 2023 г. благодаря приказу Минздрава РФ № 206н появилась возможность подготовки медицинских физиков также на базе специальности 32.05.01 “Медико-профилактическое дело” – при условии прохождения программы профессиональной переподготовки по направлению “Медицинская физика”. Эта траектория даёт выпускнику полноценное медицинское образование и понимание гигиенических, эпидемиологических и биофизических основ взаимодействия с пациентом, но, как и в предыдущем случае, требует дополнительного изучения технических дисциплин: дозиметрии, радиационной безопасности, физических основ лучевой терапии.

Существующие краткосрочные курсы переподготовки (например, программа первичной подготовки при РМАНПО объёмом 144 часа) частично восполняют дефицит знаний, но остаются недостаточными для формирования устойчивых компетенций. Слушатели таких курсов отмечают высокую пользу практической работы с клиницистами, однако короткая продолжительность и значимый разброс исходного уровня подготовки затрудняют полноценное освоение материала [8].

Таким образом, нормативное признание профессии “медицинский физик” и расширение образовательных траекторий подготовки создают условия для комплексного наращивания кадрового потенциала в области медицинской радиологии. Технически и медицински ориентированные направления обеспечивают различный профиль компетенций: от инженерного сопровождения сложного оборудования до участия в клиническом процессе и планировании лучевой терапии. Это не конкурирующие подходы, а взаимодополняющие ресурсы, каждый из которых может быть востребован в зависимости от специфики лечебного учреждения. Разнообразие путей подготовки специалистов по медицинской физике позволяет обеспечивать гибкость и вариативность при подборе профессионалов в различные области радиологической практики, включая онкологические центры, службы радиационного контроля и дозиметрического обеспечения.

Опыт реализации профессиональной переподготовки в медицинском вузе

На этом фоне представляет интерес опыт Рязанского государственного медицинского университета им. академика И.П. Павлова Минздрава РФ (РязГМУ), где реализуется уникальная модель подготовки медицинских физиков на базе медицинского образования. В рамках программы профессиональной переподготовки “Медицинская физика” целенаправленно формируются профессиональные компетенции, соответствующие должности “медицинский физик”, с акцентом на дозиметрическое планирование, обеспечение радиационной безопасности и практическую работу в отделениях лучевой терапии. Обучение проходят преимущественно студенты 5 курса специальности 32.05.01 “Медико-профилактическое дело”, осваивая программу параллельно с основным курсом, а также отдельные выпускники этой же специальности. Такая организация образовательного процесса позволяет расширить охват целевой аудитории и обеспечивает преемственность подготовки. Данный опыт был представлен на Конгрессе “Онкорadiология, лучевая диагностика и терапия – 2025” и получил положительную экспертную оценку, что подтверждает актуальность интеграции медицинского и физико-технического компонентов в профессиональное образование (рис. 2).

Общий объём программы составляет 506 часов и рассчитан на один учебный год. Занятия организованы по модульному принципу с сочетанием очных и дистанционных форм обучения. Учебный план включает девять модулей, последовательно выстроенных от фундаментальных основ к прикладным и специализированным темам.

Программа начинается с вводного модуля, знакомящего слушателей с предметной областью медицинской физики: её историей, нормативно-правовой базой, основными направлениями и ролью медицинского физика в современной системе здравоохранения.

Далее следуют фундаментальные дисциплины, необходимые для понимания физических принципов работы медицинских технологий: радиационная физика (с элементами радиобиологии), физика неионизирующих излучений (включая лазерную медицину, ультразвуковую диагностику, магнитно-резонансную



Рис. 2. Представители РязГМУ на Конгрессе и председатель секции проф. А.П. Черняев

томографию и др.), а также физика и техника медицинской радиологической аппаратуры. В этих модулях слушатели осваивают основы атомной и ядерной физики, законы взаимодействия излучений с веществом, а также принципы действия диагностического и терапевтического оборудования.

Преподавание ведётся сотрудниками кафедры физики, математики и медицинской информатики. Особое внимание уделяется прикладной интерпретации физических законов через клинические примеры. Так, при изучении дозиметрии анализируются реальные клинические ситуации расчёта доз облучения при различных режимах лучевой терапии, что способствует более глубокому пониманию абстрактных физических понятий.

Для обеспечения высокого качества преподавания важна не только методическая проработка курса, но и профессиональная подготовка преподавателей. Сотрудники кафедры, задействованные в реализации программы, предварительно прошли курсы повышения квалификации и профессиональной переподготовки по медицинской физике, что позволяет им эффективно адаптировать материал к требованиям клинической практики и выстраивать междисциплинарные связи с другими участниками образовательного процесса.

С учётом специфики контингента (слушатели с преимущественно медицинским мышлением) применяются адаптированные методы преподавания: математический аппарат сводится к необходимому минимуму, при этом вво-

дятся поддерживающие занятия для выравнивания базовых знаний по физике. Перед началом основных модулей проводится краткий вводный курс по математике и медицинской статистике, необходимый для освоения биофизических моделей распределения доз, анализа результатов лучевых исследований и последующего понимания принципов планирования лучевой терапии.

Следующий крупный блок учебного плана составляют клинически ориентированные дисциплины, отражающие практическое применение физических знаний в медицине. Обучение в этом разделе охватывает вопросы радиационной безопасности, лучевой диагностики и лучевой терапии и проводится совместно с профильными кафедрами университета и приглашёнными практикующими специалистами.

Модуль "Радиационная безопасность" реализуется кафедрой общей гигиены и включает изучение санитарных норм и правил работы с ионизирующим излучением, методов радиационного контроля, принципов устройства систем индивидуальной и коллективной защиты, а также алгоритмов работы с открытыми и закрытыми источниками излучения в медицинских организациях.

Модуль "Лучевая диагностика" преподаётся сотрудниками кафедры лучевой диагностики и рентгенэндоваскулярной хирургии. Слушатели знакомятся с физическими принципами и конструкцией рентгенографических систем, компьютерных и магнитно-резонансных томографов, получают представление об основах ядерной медицины (ОФЭКТ, ПЭТ) и функциях медицинского физика в отделениях диагностики.

Особое значение придаётся модулю "Лучевая терапия", курируемому кафедрой онкологии. В рамках этой дисциплины рассматриваются современные технологии дистанционного и контактного облучения, клинические аспекты радиотерапии злокачественных новообразований, основы клинической дозиметрии, этапы планирования и верификации дозного распределения.

Программа завершается итоговой аттестацией, включающей тестирование и защиту индивидуального проекта, направленного на разработку и обоснование дозиметрического плана лучевой терапии при заданном клиническом случае. Особое внимание в процессе оценки уделяется способности слушателя интерпретировать клинические данные, применять

принципы дозиметрии и обосновывать выбор техники облучения. Кроме того, слушатели проходят репетиционное аккредитационное тестирование, основанное на модельных заданиях Федерального методического центра аккредитации специалистов (ФМЗА), включающее как теоретический этап (тесты по 13 дисциплинам), так и симуляционный этап (ОСКЭ по трудовым функциям медицинского физика) [9]. Это позволяет студентам заблаговременно ознакомиться с форматом процедуры первичной специализированной аккредитации и повысить свою готовность к официальному профессиональному экзамену. Проведение такого пробного аккредитационного этапа также является критерием внутренней оценки эффективности образовательной траектории.

Следует отдельно подчеркнуть особенности преподавания физики слушателям с медицинским образованием. Практика показала, что студенты с врачебной подготовкой демонстрируют высокую мотивацию к освоению новой специальности, однако их восприятие учебного материала заметно отличается от выпускников физических факультетов. Медикам ближе клиническое и алгоритмическое мышление, тогда как физические дисциплины требуют абстракции, численного анализа и системной работы с моделями.

Для преодоления этого различия в программе РязГМУ применяется интегративный подход к обучению, при котором каждый теоретический раздел сопровождается клинически ориентированным практическим кейсом. Например, при изучении взаимодействия ионизирующего излучения с биологическими тканями разбирается клинический феномен лучевых реакций кожи, который связывается с понятием поглощённой дозы и линейной плотности переноса энергии. Такой подход позволяет «перевести» абстрактные физические концепции на привычный для медиков клинический язык.

Междисциплинарный характер обучения дополнительно обеспечивается активным участием врачей-радиологов и радиотерапевтов в проведении семинарских занятий. Они представляют реальные изображения КТ и МРТ, примеры планов облучения, методы оконтуривания мишеней и органов риска, что помогает слушателям понять требования клинической практики к работе медицинского физика. Такая форма подачи материала способствует лучшему усвоению ключевых понятий и фор-

мированию межпрофессионального взаимодействия уже на этапе обучения.

Роль клинической базы в подготовке медицинских физиков

Кульминацией программы было прохождение студентами практической стажировки на базе клинического учреждения – ГБУ РО “Областной клинический онкологический диспансер” (ОКОД) в г. Рязани. Стажировка организована в отделении радиотерапии ОКОД, где в распоряжении обучающихся оказались современные лучевые комплексы (линейный ускоритель электронов, гамма-терапевтическая установка, система брахитерапии) и рабочие места медицинских физиков. В течение 4 недель студенты под наставничеством опытных медицинских физиков участвовали в реальных рабочих процессах отделения. Они получили возможность применить полученные знания по дозиметрии и планированию на практике: самостоятельно (под контролем кураторов) составлять простые планы облучения в системе трёхмерного планирования, проводить расчёт доз по контрольным точкам, выполнять тестовые задания на дозиметрических фантомах.

Кроме того, стажёры присутствовали на разборах клинических случаев с участием радиотерапевтов, ассистировали при проведении процедур верификации позиционирования пациентов (порт-фильмы, СВСТ) и ознакомились с проведением входного контроля качества линейного ускорителя. Важной частью практики стало ведение документации: каждый студент вёл дневник стажировки, где отражал выполненные задачи, возникшие трудности и пути их решения совместно с наставником. На еженедельных совещаниях в отделении они докладывали о своих результатах и получали обратную связь от сотрудников отделения (рис. 3).

По окончании стажировки была проведена итоговая конференция с участием всех слушателей и руководителей практики. Обратная связь от слушателей оказалась исключительно позитивной. Студенты отметили, что клиническая практика значительно укрепила их мотивацию работать по специальности “медицинский физик”, позволила почувствовать себя частью мультидисциплинарной команды онкологического отделения. Многие признались, что лишь при непосредственной работе в боль-

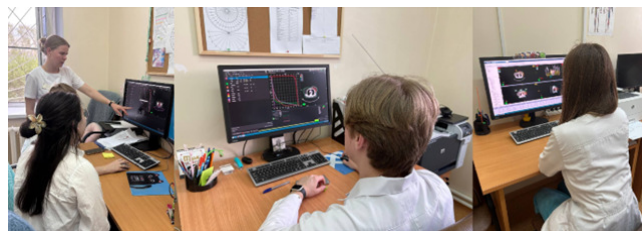


Рис. 3. Слушатели ПП РязГМУ на стажировке у медицинских физиков ОКОД

нице смогли до конца осознать степень ответственности медицинского физика и важность тщательности в каждой детали дозиметрического планирования. Так, один из участников отметил: “Когда составляешь план облучения реальному пациенту, перестаёшь воспринимать дозу просто как цифры – начинаешь понимать, что за каждым грёем стоит состояние конкретного человека”. Наставники – сотрудники ОКОД – также высоко оценили уровень подготовки слушателей. По их словам, врачистажёры быстро освоили программное обеспечение планирования и алгоритмы расчёта доз, а их медицинский бэкграунд помогал легко находить общий язык с врачами-радиотерапевтами. Существенно повысилась и общая культура радиационной безопасности у слушателей: находясь в действующем радиотерапевтическом отделении, они на практике закрепили требования СанПиН по работе с источниками излучения.

Данный практический этап подтвердил ключевую роль клинической базы в подготовке медицинского физика. Теоретические знания, полученные в аудитории, приобретают для слушателей настоящий смысл только при столкновении с реальными задачами лучевой терапии. Подобное наблюдение ранее описывалось и другими специалистами: в частности, Н.Ф. Карякина и соавт. отмечали, что лишь погрузившись в работу лечебного учреждения и наблюдая за процессом лечения пациентов, физик может увидеть разницу между статичностью созданного им плана и динамичностью процесса лучевого лечения [8]. Наш опыт полностью согласуется с этим – после стажировки слушатели значительно глубже стали понимать клинико-организационные аспекты лучевой терапии, что подтвердилось результатами итоговой аттестации (все слушатели успешно справились с ситуационными задачами, связанными с планированием и обоснованием схем облучения).

Сравнительный анализ образовательных траекторий подготовки медицинских физиков

При разработке модели переподготовки на базе медицинского вуза мы сопоставили её с уже сложившейся в России традицией подготовки медицинских физиков на технической основе. Такой сравнительный анализ позволил выявить сильные и уязвимые стороны каждой траектории с учётом различий в исходном образовании, профиле подготовки и характере профессиональной адаптации. Каждая из них формирует специалистов с разным профилем компетенций и требует собственных подходов к построению учебного процесса. В настоящем разделе приведён сравнительный анализ этих траекторий, основанный на практическом опыте реализации программы в РязГМУ и обзоре отечественных образовательных практик (табл. 1).

Техническая траектория, базирующаяся на физико-математическом и инженерном образовании, обеспечивает глубокую подготовку в области ядерной физики, дозиметрии, программирования и математического моделирования. Это формирует высокий уровень технической экспертизы, необходимый при работе с оборудованием и в проведении точных расчётов. В то же время выпускники без медицинской подготовки могут испытывать затруднения при освоении клинической терминологии, радиобиологических основ и интеграции в клинические команды [8].

Медицинская траектория опирается на высшее медицинское образование и формирует иное профессиональное ядро: клиническое мышление, знание физиологии, опыт взаимодействия с пациентом и ориентацию на задачи лечебного учреждения. Как показал опыт РязГМУ, слушатели с медицинским образованием легче адаптируются в клиническом отделении и быстрее осваивают клинические аспекты радиотерапии, но при этом нуждаются в усиленной подготовке по физике, математике и радиационным технологиям. Важнейшим фактором эффективности обучения в этом случае становится адаптация преподавания физики к потребностям врача: интеграция клинических кейсов, визуальных материалов и работа в междисциплинарной команде.

Таким образом, каждая траектория имеет не только собственные образовательные акценты, но и уязвимые звенья, которые необходимо

учитывать при проектировании программ подготовки. На практике это означает необходимость гибких подходов, в том числе модульных программ, индивидуальных образовательных маршрутов и широкого участия профильных кафедр и клинических баз. Опыт РязГМУ подтверждает, что возможна эффективная профессиональная переподготовка врача в области медицинской физики при наличии методической поддержки и тесной интеграции с клиникой. Параллельное развитие обеих траекторий позволяет формировать мультипрофильную систему подготовки, адаптируемую под задачи конкретных учреждений и регионов.

Заметную роль играет междисциплинарная коммуникация, как было показано в работе В.С. Верхотуровой и соавт. [10], где подчёркивается необходимость координации между представителями клинической и физико-математической школы в процессе подготовки магистрантов. Таким образом, описанная модель может рассматриваться как пример конвергентного образовательного подхода, направленного на интеграцию физических и клинических компетенций в ответ на возрастающие требования к подготовке специалистов в области медицинской радиологии.

Заключение

В условиях нормативного признания профессии медицинского физика и сохраняющегося дефицита квалифицированных кадров особенно актуальным становится поиск эффективных моделей подготовки специалистов. Утверждение квалификационных требований (приказ Минздрава РФ № 206н) сформировало правовую основу для развития образовательных программ, однако фактическая потребность в медицинских физиках по-прежнему превышает их доступное число более чем вдвое. Это объективно требует диверсификации подходов и поиска новых решений в области образования и переподготовки.

Опыт реализации программы профессиональной переподготовки в РязГМУ подтвердил потенциал подготовки медицинских физиков на базе медицинского университета. При использовании адаптированных методических стратегий и практико-ориентированной подачи материала, слушатели с базовым медицинским образованием успешно осваивают сложные разделы физико-технического блока.

Таблица 1

Сравнение траекторий подготовки медицинских физиков

Аспект сравнения	Традиционная траектория (выпускники физических и инженерных специальностей)	Альтернативная траектория (выпускники медицинских специальностей)
Базовое образование	Высшее физико-математическое или инженерно-техническое образование (физика, биофизика и др.).	Высшее медицинское образование (медицинская биофизика, медико-профилактическое дело).
Основной профиль до переподготовки	Глубокие знания в области физики, математики, программирования; слабая ориентированность в клинической терминологии и биологии.	Глубокие знания в области медицины, анатомии, физиологии, клинического процесса; ограниченная подготовка по высшей математике и физике.
Дополнительное обучение по медицинской физике	Профессиональная переподготовка или магистратура по медицинской физике с упором на анатомию, физиологию, основы онкологии и радиологии, а также прикладные разделы физики.	Профессиональная переподготовка по медицинской физике с упором на ядерную физику, дозиметрию, радиационную технику, математическое моделирование, радиационную безопасность.
Особенности обучения	Необходима адаптация медико-биологических дисциплин для слушателей без медицинского образования; введение курсов по анатомии, клинической радиобиологии, этике работы с пациентами. Часто реализуется на базе физических факультетов с участием медучреждений	Необходима адаптация преподавания физико-технических дисциплин для врачей; упор на практические упражнения и визуальные демонстрации физики. Реализуется на базе медицинских вузов в сотрудничестве с физическими кафедрами и научными институтами.
Практическая подготовка	Требуется восполнение клинического опыта – рекомендуется стажировка в больнице или клиническая ординатура, т.к. у выпускников-физиков отсутствует практический навык работы с пациентами.	Требуется восполнение опыта работы с оборудованием – обязательна стажировка в физико-технической лаборатории или отделении лучевой терапии для приобретения навыков работы с аппаратурой и ПО.
Аккредитация	Выпускники без медобразования проходят первичную специализированную аккредитацию по специальности «медицинский физик» для допуска к работе.	Выпускники с медобразованием после переподготовки также проходят аккредитацию (в форме первичной специализированной или профессиональной переподготовки) для получения сертификата медицинского физика.
Преимущества модели	Очень сильная фундаментальная подготовка по физике; умение решать технические и вычислительные задачи, разрабатывать новые методы.	Сильное понимание клинических процессов; умение общаться с врачами «на одном языке», учитывать состояние пациентов; быстрее адаптируются в больнице.
Трудности модели	Затруднения в освоении клинической терминологии и мышления; требуется время, чтобы физик почувствовал себя частью медицинского коллектива.	Сложности в освоении сложных разделов радиационной физики; требуется интенсивный курс по этим предметам, что повышает нагрузку.
Примеры реализации	Магистратура по медицинской физике в технических вузах (НИЯУ МИФИ, Томский политех и др.); курсы переподготовки для физических кафедр (программа МГУ).	Программа переподготовки РязГМУ (описана в данной статье); аналогичные пилотные проекты в медвузах (СибГМУ при участии онкодиспансера и реактора ТПУ).

При этом наличие клинической компетентности у обучающихся облегчает их интеграцию в работу радиотерапевтических подразделений и способствует выстраиванию продуктивного взаимодействия с врачебным коллективом. Однако полноценная оценка эффективности такой модели требует длительного мониторинга

профессионального пути выпускников: именно их успешная адаптация в клинической практике в течение 3–5 лет позволит подтвердить устойчивость и жизнеспособность образовательной траектории.

Разработанная в университете модульная программа объемом 506 академических часов

охватывает все ключевые области медицинской физики: от взаимодействия излучений с биотканями до основ планирования лучевой терапии. Междисциплинарный характер обучения обеспечивается участием преподавателей различных кафедр – физико-математического, клинического и гигиенического профилей. Центральным элементом программы является клиническая стажировка, которая позволяет не только закрепить теоретические знания, но и сформировать осознанное представление о профессиональной роли медицинского физика в реальных условиях лечебного учреждения [11].

Практика в профильной клинической базе, такой как отделение лучевой терапии онкологического диспансера, оказалась ключевым звеном в процессе профессионализации слушателей. Непосредственное участие в планировании и реализации лечебных процедур усиливает клиническое мышление, формирует чувство ответственности и повышает осознанность применения физических знаний в интересах пациента.

Сравнительный анализ показал, что медицинская траектория подготовки не конкурирует с технической, а дополняет её, предлагая иной контингент обучающихся и иной вектор вхождения в профессию. При наличии должной методической и клинической поддержки обе модели могут обеспечивать качественную подготовку специалистов, соответствующую современным требованиям. Важнейшим условием является включение длительной клинической практики как обязательного компонента обучения, что отражает международный опыт и способствует формированию устойчивых профессиональных компетенций. Перспективным направлением развития является создание унифицированных программ переподготовки, построенных на основе профессионального стандарта и охватывающих все трудовые функции медицинского физика. Масштабирование подобных решений возможно через сеть опорных вузов и федеральных клинических центров, что позволит в краткосрочной перспективе существенно повысить кадровое обеспечение и обеспечить устойчивое развитие всей системы. Совмещение разных образовательных подходов в едином профессиональном поле формирует необходимую гибкость системы подготовки и повышает её адаптивность к меняющимся задачам практического здравоохранения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и благодарят рецензентов за внимательное прочтение и ценные замечания, способствовавшие уточнению концептуальных и терминологических аспектов статьи.

Список литературы

1. Министерство здравоохранения РФ. Приказ от 2 мая 2023 г. № 206н “Об утверждении квалификационных требований к медицинским и фармацевтическим работникам с высшим образованием”. Минздрав России, 2023.
Ministry of Health of the Russian Federation. Order No. 206n dated May 2, 2023 “On the approval of qualification requirements for medical and pharmaceutical workers with higher education.” Moscow: Ministry of Health of Russia; 2023 (In Russ).
2. В российских больницах дефицит медицинских физиков составляет более 50 %. Национальные проекты – Здравоохранение. 28 января 2021 г. URL: <https://tass.ru/nacionalnye-proekty/10566157> (дата обращения: 01.05.2025).
There is a shortage of over 50 % of medical physicists in Russian hospitals. National Projects – Healthcare. January 28, 2021. Available from: <https://tass.ru/nacionalnye-proekty/10566157> (accessed May 1, 2025) (In Russ).
3. Newhauser WD, Gress DA, Mills MD, Jordan DW, Sutlief SG, Martin MC, et al. Medical physics workforce in the United States. *J Appl Clin Med Phys*. 2022; 23 (Suppl. 1): e13762. <https://doi.org/10.1002/acm2.13762>
4. Maas AJJ, Lammertsma AA, Agius S, Bert C, Byrne B, Caruana CJ, et al. Education, training and registration of Medical Physics Experts across Europe. *Phys Med*. 2021; 85: 129-36. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.03.034>.
5. Yan H, Wang X, Liu C, Zhang Z, Chen W, Wu J, et al. The status of medical physics in radiotherapy in China. *Phys Med*. 2021; 83: 171-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.05.007>.
6. Черняев АП, Борщegovская ПЮ, Варзарь СМ, и др. Разработка и апробация образовательной программы профессиональной переподготовки медицинских физиков для лучевой терапии в МГУ им. М.В. Ломоносова.

- ва. Медицинская физика. 2017; (3): 87-93. EDN ZHRKMX.
- Chernyaev AP, Borshchegovskaya PY, Varzar SM, et al. Development and implementation of a professional retraining program for medical physicists in radiation therapy at Lomonosov Moscow State University. Medical Physics (Russia). 2017; (3): 87-93. EDN ZHRKMX (In Russ).
7. Черняев АП, Близнюк УА, Борщеговская ПЮ, и др. Подготовка медицинских физиков для клинических баз в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. 2016; 16 (4): 238-43. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2016-16-4-238-243>. EDN XTCXWF.
 - Chernyaev AP, Bliznyuk UA, Borshchegovskaya PY, et al. Training of medical physicists for clinical centers at Lomonosov Moscow State University. Saratov University News. New Series. Series: Physics. 2016; 16 (4): 238-43. <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2016-16-4-238-243>. EDN XTCXWF (In Russ).
 8. Карякина НФ, Кизжаев ЕВ, Столбовой АВ, и др. Возможности и трудности первичной подготовки медицинских физиков для работы в лучевой терапии. Медицинская физика. 2019; (4): 97-101. EDN QGLORD.
 - Karyakina NF, Kizhaev EV, Stolbovoy AV, et al. Opportunities and challenges in the initial training of medical physicists for work in radiation therapy. Medical Physics (Russia). 2019; (4): 97-101. EDN QGLORD (In Russ).
 9. Черняев АП, Акопян ЖА, Антипина НА, и др. Первичная специализированная аккредитация медицинских физиков. Медицинская физика. 2024; (1): 63-71. <https://doi.org/10.52775/1810-200X-2024-101-1-63-71>. EDN RWWQPS.
 - Chernyaev AP, Akopyan ZhA, Antipina NA, et al. Initial specialized accreditation of medical physicists. Medical Physics (Russia). 2024; (1): 63-71. <https://doi.org/10.52775/1810-200X-2024-101-1-63-71>. EDN RWWQPS (In Russ).
 10. Верхотурова ВВ, Вебер ЮЮ, Сухих ЕС, Сухих ЛГ. Разработка и использование модульной образовательной программы "Nuclear Medicine" для подготовки медицинских физиков (магистров). Медицинская физика. 2021; (4): 55-66. <https://doi.org/10.52775/1810-200X-2021-92-4-55-66>. EDN VOADEW.
 - Verkhoturova VV, Veber YY, Sukhikh ES, Sukhikh LG. Development and implementation of the modular educational program "Nuclear Medicine" for training medical physicists (Master's level). Medical Physics (Russia). 2021; (4): 55-66. <https://doi.org/10.52775/1810-200X-2021-92-4-55-66>. EDN VOADEW (In Russ).
 11. Кривушин АА, Авачева ТГ. О медицинской физике как учебной дисциплине. В кн.: Цифровое будущее современной медицины: сб. докл. I Всерос. конф. студентов и молодых учёных с междунар. участием, Рязань, 24-25 апр. 2024 г. Рязань: РязГМУ; 2024. С. 156-159. EDN LEVFFZ.
 - Krivushin AA, Avacheva TG. On medical physics as an academic discipline. In: Digital Future of Modern Medicine: proc. of the 1st All-Russian Conf. for Students and Young Scientists with International Participation, Ryazan, April 24-25, 2024. Ryazan: Acad. I.P. Pavlov-Ryazan State Medical University; 2024. P. 156-159. EDN LEVFFZ (In Russ).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 07.05.2025. Принята к публикации: 10.09.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 07.05.2025. Accepted for publication: 10.09.2025.