

## РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ “NUCLEAR MEDICINE” ДЛЯ ПОДГОТОВКИ МЕДИЦИНСКИХ ФИЗИКОВ (МАГИСТРОВ)

В.В. Верхотурова<sup>1</sup>, Ю.Ю. Вебер<sup>1</sup>, Е.С. Сухих<sup>1,2</sup>, Л.Г. Сухих<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Томск

<sup>2</sup> Томский областной онкологический диспансер, Томск

Представленная модульная образовательная программа магистратуры “Nuclear Medicine”\* для медицинских физиков разработана при сотрудничестве двух университетов (ТПУ и СибГМУ) и медицинским учреждением в области лечения онкологических заболеваний ОГАУЗ “ТООД”, доступна для студентов РФ и стран СНГ и других стран, обучающихся в Томске. Образовательная программа направлена на подготовку магистров, способных эффективно осуществлять профессиональную деятельность в таких областях как “Атомная промышленность (в сфере использования ядерных физики и технологий)” и “Образование и наука (в сфере научных исследований по ядерным технологиям)”.

Ключевые слова: *медицинские физики, модульная образовательная программа, магистратура*  
DOI: 10.52775/1810-200X-2021-92-4-55-66

### Предистория

Основная образовательная программа магистратуры “Ядерная медицина” зародилась на кафедре “Прикладная физика” Физико-технического института Томского политехнического университета (ТПУ) в 2006 г. и первоначально именовалась как “Медицинская физика”. Основоположниками и идейными вдохновителями программы выступили профессор, д.ф.-м.н. Потылицын А.П., являющийся на тот момент времени заведующим кафедрой “Прикладная физика”, и профессор, д.т.н. Лисин В.А. (Научно-исследовательский институт онкологии г. Томска).

В 2015 г. программа была модернизирована и получила название “Ядерная медицина”. Реализация данной программы проводилась при сотрудничестве двух университетов – ТПУ и Сибирского государственного медицинского университета (СибГМУ) и была доступна для студентов РФ и стран СНГ. Часть дисциплин учебного плана подготовки реализовалась на английском языке. Первый выпуск специалистов состоялся в 2017 г.

В связи с оснащением и вводом в эксплуатацию современного оборудования для лучевой терапии появилась возможность не только читать лекции по современным методам лучевой

\* От редакции журнала: Название программы “Nuclear Medicine” представляется дезориентирующим и, в связи с этим, терминологически неудачным. Дело в том, что данная программа относится не только к собственно ядерной медицине в общепринятом понимании этого термина (т.е. к радионуклидной диагностике и радионуклидной терапии), но и к лучевой диагностике и лучевой терапии, которые к ядерной медицине не относятся.

терапии, но и проводить практические и лабораторные занятия на базе Томского областного онкологического диспансера (ОГАУЗ “ТООД”). В частности, сотрудниками отдела медицинской физики радиотерапевтического отделения ОГАУЗ “ТООД” были реализованы такие дисциплины как “Современные методы лучевой терапии” и “Клиническая дозиметрия” в виде лекционных, практических и лабораторных занятий.

В настоящее время программа “Nuclear medicine” является образовательным треком программы магистратуры “Nuclear Science and Technology”, и реализуется полностью на английском языке в сетевой форме совместно с СибГМУ и в тесном взаимодействии с ОГАУЗ “ТООД”. По программе обучаются русскоговорящие студенты из РФ и стран СНГ и студенты из стран ближнего и дальнего зарубежья. К настоящему времени состоялось пять выпусков учащихся по данной программе.

Научно-педагогический коллектив международной образовательной программы “Nuclear Science and Technology” Инженерной школы ядерных технологий ФГАОУ ВО НИ “Томский политехнический университет” стал лауреатом премии Томской области в сфере образования, науки, здравоохранения и культуры по номинации “Премии научным и научно-педагогическим коллективам”.

### **Пользователи образовательной программы**

По данным ВОЗ, рак является одной из основных причин смерти и постоянной инвалидности населения мира. По оценкам экспертов, современные методы медицинской радиологии способны повысить эффективность ранней диагностики рака на 35 % и снизить смертность от рака на 25–30 %. Поэтому специалисты в области медицинской радиологии, особенно в области лучевой терапии, производства радиофармацевтических препаратов, медицинской визуализации пользуются большим спросом во всем мире. Диагностика и лечение пациентов, разработка и применение новых методов терапии требуют участия не только врачей, но и инженеров, физиков и др. специалистов.

Программа “Nuclear medicine” – это уникальная сетевая англоязычная образовательная программа в России, направленная на подготовку конкурентоспособных специалистов

для зарубежных и российских научных и медицинских центров.

Обучение специалистов в области медицинской радиологии реализуется с применением учебно-лабораторной базы ТПУ и СибГМУ, действующих исследовательских ядерных установок ТПУ. Особая роль в реализации практической и научно-исследовательской подготовки студентов принадлежит ОГАУЗ “ТООД”, который выступает уникальной площадкой для выполнения студентами научно-исследовательских проектов, прохождения производственной практики и выполнения выпускных квалификационных работ (магистерских диссертаций) под руководством высококлассных специалистов и с привлечением материально-технических ресурсов Томского онкологического диспансера.

Огромный потенциал ТПУ в плане подготовки специалистов для отечественной атомной отрасли и создания новых диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов, а также значительный клинический опыт СибГМУ и ОГАУЗ “ТООД” являются достаточным основанием для завоевания новых позиций на отечественном и мировом рынках подготовки специалистов, не только способных работать на действующих радиационных установках, но и способных развивать медицинскую радиологию в целом.

Отличительной характеристикой программы является то, что теоретическая и практическая части программы реализуются преподавательским составом ТПУ и СибГМУ, имеющим необходимые квалификации, многолетний опыт подготовки специалистов в области ядерной физики и технологий, медицины, владеющим на достаточно высоком уровне английским языком. Научно-исследовательская составляющая программы подготовки магистрантов в области медицинской радиологии осуществляется с привлечением широкого спектра специалистов ОГАУЗ “ТООД”, имеющих большой практический опыт работы в области высокотехнологичного лечения опухолевых и неопухолевых заболеваний с помощью различных видов ионизирующего излучения (гамма, фотоны, нейтроны, протоны и т.д.).

ТПУ имеет многолетний опыт в разработке и производстве медицинских радиофармацевтических препаратов с использованием ядерных исследовательских установок ТПУ, таких как исследовательский реактор ИРТ-Т и циклотрон Р-7М, что делает программу подготовки привлекательной для иностранных сту-

дентов, приезжающих в ТПУ из таких стран, как Гана, Египет, Уганда, ЮАР, Замбия и др.

Основными потребителями аккредитуемой программы являются русскоговорящие граждане из РФ и стран СНГ и иностранные граждане, которые проходят обучение по заказу своих стран – партнеров Госкорпорации “Росатом”, являющейся одной из немногих компаний на глобальном ядерном рынке, располагающей компетенциями во всех сегментах ядерного топливного цикла, от добычи урана до вывода из эксплуатации ядерных объектов. Госкорпорация “Росатом” является обладателем престижных российских наград как лучший работодатель по итогам 2018 и 2020 гг. (по версии группы компаний HeadHunter). Выпускники программы трудоустраиваются на предприятиях атомной отрасли, национальных атомных агентствах и образовательных учреждениях, осуществляющих подготовку специалистов в области ядерных физики и технологий. Некоторые выпускники продолжают обучение в аспирантуре ТПУ по направлению 14.06.01 “Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии” – единственной программе в России, реализующейся на английском языке исключительно для иностранных граждан стран-партнёров госкорпорации “Росатом”. Это, в свою очередь, позволяет достичь преемственности в обучении и подготовке кадров для атомной отрасли.

## Цели и результаты обучения

Программа направлена на подготовку магистров, способных эффективно осуществлять профессиональную деятельность в таких областях как “Атомная промышленность (в сфере использования ядерных физики и технологий)” и “Образование и наука (в сфере научных исследований по ядерной физике и технологиям)” [1].

Цели и связанные с ними результаты обучения определяются вузом. Результаты обучения выступают средством выражения уровня компетенции, являются формулировкой того, что способен продемонстрировать выпускник после завершения обучения. Компетенции являются целью образовательных программ и самого процесса обучения и приобретаются студентами на основе полученных результатов обучения и практического опыта.

Механизм формирования целей образовательной программы “Nuclear medicine” и результатов обучения основан на совокупности требо-

ваний, соблюдение которых является обязательным условием при реализации основной образовательной программы магистратуры по направлению 14.04.02 “Ядерные физика и технологии”, к числу которых относятся требования Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 14.04.02 “Ядерные физика и технологии”, профессиональных стандартов, а также рекомендации Международного агентства по атомной энергии (далее МАГАТЭ) по формированию профессиональных знаний и компетенций у будущих специалистов в области медицинской физики [2, 3]. Необходимо отметить, что требования и запросы потребителей (работодателей), заинтересованных в приобретении выпускниками профессиональных компетенций, также имеют важное значение при определении и корректировке результатов обучения.

Проводимые учебные занятия (лабораторные работы по дисциплинам “Клиническая дозиметрия” и “Планирование лучевой терапии”), а также производственная и учебная практики на базе ОГАУЗ “ТООД” позволяют обучающимся получить ценный опыт взаимодействия с врачами отделения лучевой диагностики уже в первых двух семестрах профессиональной подготовки. На базе отделения лучевой диагностики функционирует отдел медицинской физики, деятельность которого связана с планированием лучевой терапии, обеспечением контроля качества пучков ионизирующего излучения, проведением научных исследований по развитию и внедрению новых технологий, приборов и методов лечения с использованием ионизирующих излучений. Обучающиеся образовательной программы проходят клиническую подготовку под руководством специалистов отдела медицинской физики и врачей-радиотерапевтов, что в значительной мере способствует своевременному пересмотру и корректировке результатов обучения на программе в случае необходимости. Цели образовательной программы представлены в табл. 1.

Результаты обучения представлены в виде компетенций – универсальных (табл. 2), общепрофессиональных (табл. 3) и профессиональных, которыми должны овладеть выпускники на момент завершения образовательной программы и на протяжении следующих нескольких лет в процессе выполнения профессиональной деятельности.

Модель универсальных и общепрофессиональных компетенций, которые должны быть сформированы у магистра в рамках изучения

Таблица 1

**Цели образовательной программы**

Код цели	Формулировка цели
Ц1	Подготовка выпускников к овладению и применению совокупности знаний, навыков и умений для успешного выполнения научно-исследовательской деятельности в области радиационной онкологии. **
Ц2	Подготовка выпускников к овладению и применению совокупности знаний, навыков и умений для успешного выполнения проектной деятельности в области радиационной онкологии.
Ц3	Подготовка выпускников к овладению и применению совокупности знаний, навыков и умений для успешного выполнения организационно-управленческой деятельности в области радиационной онкологии.
Ц4	Подготовка выпускников к овладению и применению совокупности знаний, навыков и умений для успешного выполнения педагогической деятельности в сфере научных исследований по ядерным физике и технологиям.

\*\* От редакции журнала: Авторы снова используют дезориентирующий термин, а именно "радиационная онкология". Дело в том, что подавляющее большинство отечественных и зарубежных специалистов считают этот термин синонимом только лучевой терапии, тогда как авторы в табл. 1 имели в виду всю медицинскую радиологию, т.е. совокупность лучевой терапии, лучевой диагностики и ядерной медицины

Таблица 2

**Универсальные компетенции выпускников**

Наименование категории универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции
Системное и критическое мышление	УК(У)-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий.
Разработка и реализация проектов	УК(У)-2. Способен управлять проектом, выделяя этапы жизненного цикла проекта.
Командная работа и лидерство	УК(У)-3. Способен организовать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели.
Коммуникация	УК(У)-4. Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия.
Межкультурное взаимодействие	УК(У)-5. Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.
Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровьесбережение)	УК(У)-6. Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки.

Таблица 3

**Общепрофессиональные компетенции выпускников**

Наименование категории общепрофессиональных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции
Проведение исследований	ОПК(У)-1. Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач.
Проведение исследований	ОПК(У)-2. Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы.
Представление результатов работы	ОПК(У)-3. Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели.

дисциплин учебного плана по данной образовательной программе, включает компетенции, которые определяются ФГОС ВО по направлению 14.04.02 “Ядерная физика и технологии” [1].

Определение профессиональных компетенций как результатов обучения – сложная и одновременно важная задача, предполагающая изучение и отбор перечня основных объектов профессиональной деятельности выпускников по направлению подготовки 14.04.02 “Ядерная физика и технологии”, в число которых входят:

- ✓ радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду;
- ✓ физические факторы среды обитания человека и физические методы воздействия на его организм в медицинских целях;
- ✓ физическое оборудование и приборы, источники излучения, используемые в медицине;
- ✓ радиоактивные материалы и радиоактивные отходы в медицине;
- ✓ образование (в сфере профессионального обучения, профессионального образования, дополнительного образования в области ядерной физики и технологий);
- ✓ сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий.

На основе выделенных областей, сфер, объектов, задач и видов профессиональной деятельности были определены следующие профессиональные компетенции в областях “Атомная промышленность (в сфере использования ядерных физики и технологий)” и “Образование и наука” (в сфере научных исследований по ядерной физике и технологиям), которыми должны овладеть выпускники аккредитованной образовательной программы.

#### **Организационно-управленческая деятельность:**

- ✓ Вести медицинскую и техническую документацию, относящуюся к медико-физическим аспектам лучевой терапии, рентгенологии, интервенционной радиологии, а также радионуклидной диагностики и терапии.
- ✓ Обеспечивать радиационную безопасность персонала, населения и окружающей среды, осуществлять радиационный контроль уровней облучения пациентов, персонала, населения и окружающей среды.
- ✓ Обеспечивать управление и техническое обслуживание средств и технологий применения излучений в медицине.

- ✓ Управлять качеством физических и технических аспектов в подразделениях лучевой терапии, диагностики, интервенционной радиологии и радионуклидной диагностики и терапии в соответствии с оснащением, требованиями нормативной документации и кадровым обеспечением медицинской организации.

#### **Научно-исследовательская деятельность**

- ✓ Проводить и организовывать дозиметрическое планирование, клиническую дозиметрию, процедуры гарантии качества для лучевой терапии, лучевой диагностики, интервенционной радиологии и радионуклидной диагностики и терапии.
- ✓ Применять знания естественнонаучных дисциплин, фундаментальных законов в области ядерной физики и технологий, клинических и радиационно-гигиенических основ в области ядерной медицины в объеме, достаточном для самостоятельного проведения научных исследований в области медицинской физики с помощью современной аппаратуры и информационных технологий на основе новейшего российского и зарубежного опыта.
- ✓ Разрабатывать справочники, таблицы и программное обеспечение с данными для клинического использования при дозиметрическом планировании лучевой терапии, радионуклидной диагностики и терапии.

#### **Проектирование**

- ✓ Принимать участие в проектировании и физико-техническом оснащении подразделений лучевой терапии, лучевой диагностики, интервенционной радиологии, ядерной медицины, радиационной безопасности.

#### **Педагогическая деятельность**

- ✓ Проводить учебные занятия и разрабатывать учебно-методическое обеспечение по дисциплинам профессионального цикла программ профессионального обучения (бакалавриат).

#### **Описание образовательной программы “Nuclear medicine”**

Срок получения образования по образовательной программе в очной форме обучения, включая каникулы после прохождения государственной итоговой аттестации, составляет

2 года. Объём образовательной программы составляет 4320 часов, 120 кредитов.

Учебный план аккредитуемой образовательной программы состоит из трёх блоков.

Блок 1 “Дисциплины” включает базовую часть, представленную модулем общенаучных дисциплин и общепрофессиональных дисциплин, и вариативную часть, представленную междисциплинарным профессиональным модулем и вариативным междисциплинарным профессиональным модулем.

Модуль общенаучных дисциплин является обязательной частью учебного плана и представлен такими дисциплинами как “Иностранный язык (русский)”, которую изучают исключительно иностранные студенты, и “Профессиональный иностранный язык (английский)”, которую изучают исключительно русскоговорящие студенты.

Модуль общепрофессиональных дисциплин предполагает изучение дисциплины “Ядерная физика”, являющейся основополагающей для овладения профессиональными компетенциями будущего инженера в ядерной отрасли и имеющей тесную связь с дисциплинами других модулей учебного плана аккредитуемой образовательной программы.

Междисциплинарный профессиональный модуль включает дисциплину “Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений”, которая самым непосредственным образом связана с дисциплиной “Ядерная физика” и многими дисциплинами вариативного профессионального модуля, и дисциплину “Радиобиологические основы лучевой терапии”, которая нацелена на овладение обучающимися знаниями и умениями выполнять обработку и анализ данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях, направленных на дозиметрическое планирование, клиническую дозиметрию, процедуры гарантии качества для лучевой терапии, лучевой диагностики, интервенционной радиологии, радионуклидной диагностики и терапии.

Основополагающими дисциплинами, обеспечивающими междисциплинарный характер профессиональной подготовки по аккредитуемой образовательной программе, выступают “Ядерная физика” и “Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений”. В рамках их изучения студенты выполняют лабораторные работы, нацеленные на формирование у них умений выполнять расчёты параметров взаимодействия потоков ионизирующего из-

лучения с веществом, выполнять обработку и анализ данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях параметров радиоактивных превращений, проводить измерения характеристик полей ионизирующих излучений и дозовых величин с помощью средств дозиметрии и радиометрии, осуществлять контроль за выполнением норм радиационной безопасности, отбирать и применять в соответствии с поставленной задачей методы расчёта защиты от ионизирующих излучений и представлять результаты измерений в соответствии с требованиями соответствующих стандартов и нормативных документов.

Все вышеперечисленные умения необходимы обучающимся для освоения дисциплин вариативного междисциплинарного профессионального модуля, например, дисциплины “Радиационная физика”, в процессе изучения которой обучающиеся приобретают знания физико-технических основ работы приборов для измерения характеристик радионуклидных и генерирующих источников ионизирующих излучений, используемых в лучевой терапии, лучевой диагностике и интервенционной радиологии, и дисциплины “Клиническая дозиметрия”, в ходе изучения которой обучающиеся приобретают опыт в проведении клинической дозиметрии и выполнении процедур гарантии качества.

Необходимо отметить, что вариативный междисциплинарный профессиональный модуль представлен дисциплинами, обеспечивающими ядро профессиональной подготовки будущего специалиста в области медицинской радиологии. По завершении обучения по данным дисциплинам у выпускников программы должны быть сформированы все профессиональные компетенции, запланированные в качестве результатов обучения.

Вариативный междисциплинарный профессиональный модуль можно условно разделить на две части – “медицинскую” и “инженерную”. “Медицинская” часть включает дисциплины, содержание которых связано с изучением уровней организации организма человека, структурно-функциональной организацией органов и систем организма, физиологических функций и механизмов их регуляции, основ методологии диагностического процесса в современной лучевой диагностике, причинно-следственных связей и “порочных кругов” в развитии патологических процессов и болезней, обосновывать принципы диагностики и лечения, современных методов и программного обеспечения

для оценки функциональной активности органов и систем организма человека. К ним относятся: “Анатомия и физиология. Основы рентгенологии”, “Основы патологии и онкологии”, “Математические методы получения изображений в медицине и медицинская статистика”, “Профессиональная этика” / “Основы медицинской деонтологии”, “Радиохимия. Клиническое применение методов радионуклидной и рентгеновской диагностики” и “Методы и средства радионуклидной диагностики”. В свою очередь, “инженерная” часть представлена дисциплинами, которые способствуют формированию компетенций в области радиационной онкологии. К их числу относятся: “Радиационная физика”, “Установки ионизирующего излучения”, “Современные методы и технологии медицинской визуализации”, “Клиническая дозиметрия”, “Планирование лучевой терапии”, “Обеспечение качества лучевой терапии”, “Радиохимия. Применение радионуклидов и радиофармпрепаратов в диагностике и терапии” и “Ядерно-физические технологии и радиофармпрепараты в диагностике и терапии”.

Комбинирование этих двух компонент позволяет представить профессиональную подготовку будущих инженеров-медицинских физиков как одно целое и обеспечивает выпускников полноценными способностями и компетенциями успешно функционировать в учреждениях, чья деятельность связана с использованием ядерных технологий в медицинских целях.

Блок 2 “Практики”. В процессе и по завершении практической подготовки студенты приобретают опыт применения полученных ранее знаний, навыков и умений в практической деятельности, таким образом происходит развитие приобретаемых универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций в их тесной взаимосвязи. В ходе выполнения учебной и производственной практики у студентов формируется опыт создания, модернизации и применения технического оборудования, приборов и компонент аппаратов медицинского назначения с соблюдением принципов радиационной и технической безопасности с учётом мировых трендов науки и техники.

Блок 3 “Государственная итоговая аттестация”. На этом этапе выпускники программы должны продемонстрировать запланированные результаты обучения, а также способность и готовность их применить в профессиональной деятельности после окончания ВУЗа.

## Дисциплины образовательной программы “Nuclear medicine”

Современная ситуация на рынке труда предъявляет серьезные требования к подготовке кадров в области медицинской радиологии. Всё более востребованными становятся выпускники вузов, адаптирующиеся в производственной жизни и способные решать практические задачи. Подготовка специалистов, соответствующих требованию рынка труда, вызывает необходимость взаимодействия производственных предприятий и учебных заведений в процессе обучения студентов профессиональным дисциплинам. Большую роль в этом процессе играет преподавание специальных дисциплин, в ходе изучения которых студенты овладевают профессионально ориентированными навыками и умениями в области медицинской радиологии, и производственная практика обучающихся.

### **Анатомия и физиология. Основы рентгенологии**

Дисциплина обеспечивается преподавательским составом СибГМУ и нацелена на формирование знаний студентов о структурных уровнях организации организма человека, структурно-функциональной организации органов и систем организма, его основных физиологических функциях и механизмах их регуляции; физических основах высокотехнологических диагностических модальностей; принципах получения изображения при использовании ионизирующего и неионизирующего излучения; основах методологии диагностического процесса в современной лучевой диагностике. В рамках обучения по данной дисциплине обучающиеся выполняют лабораторные работы, тематика которых связана с освоением:

- ✓ диагностического оборудования;
- ✓ диагностического оборудования лаборатории радионуклидных методов исследования, программно-совмещёнными гибридными изображениями;
- ✓ методик лучевой визуализации центральной нервной системы, респираторной системы и средостения, костно-суставной системы, мочевыделительной системы, мужского и женского малого таза, пищеварительной системы и желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы.

### **Современные методы и технологии медицинской визуализации**

Цель дисциплины состоит в формировании базовых знаний о взаимодействии электронов с веществом, приводящих к образованию фотонов в рентгеновской трубке, законов ослабления рентгеновских фотонов в веществе для расчётов характеристик излучения, генерируемого рентгеновской трубкой и прошедшего через биологический объект; влияния основных характеристик рентгеновской трубки на дозу в биологическом объекте и детекторе; методов визуализации в медицине на основе ядерного магнитного резонанса и рентгеновского излучения. Дисциплина предусматривает помимо лекционных занятий выполнение лабораторных работ и практических заданий с использованием оборудования ТПУ. В ходе выполнения лабораторных работ студенты приобретают опыт работы с рентгеновскими аппаратами и получения изображений внутреннего строения объекта.

### **Радиационная физика**

Цель дисциплины состоит в том, чтобы сформировать базовые знания и оценку в области радиационной физики, которая включает различные процессы взаимодействия излучения с веществом, перенос излучения и основные принципы, лежащие в основе оборудования для генерации, использования и измерения полей излучения в медицине и биологии. Данный курс имеет практическую направленность, поэтому посвящен не столько фундаментальным основам теории переноса излучения, сколько особенностям взаимодействия фотонного и электронного излучения с веществом и физическим основам клинической дозиметрии.

### **Клиническая дозиметрия**

В данном курсе освещаются все аспекты клинической дозиметрии пучков ионизирующего излучения, которые используются в лучевой терапии. Представлен общий формализм по определению поглощённой дозы в воде для наиболее распространённых видов терапевтических пучков (гамма-излучение для дистанционного и контактного облучения, фотонное и электронное излучения). Лабораторные работы направлены на подготовку к самостоятельному практическому вводу в эксплуатацию оборудования для проведения лучевой терапии (гамма-аппарат и линейный ускоритель электронов для дистанционного облучения, гамма-аппарат для контактного облучения, рентгеновский аппарат) с помощью

дозиметрического оборудования (водный фантом и набор ионизационных камер), а также обслуживания данного оборудования для поддержания работоспособности в заданных параметрах, установленных международными протоколами по клинической дозиметрии [2–3].

### **Аппараты лучевой терапии**

Целью курса является формирование знаний студентов об основах аппаратов, создающих ионизирующее излучение, используемое для лучевой терапии, включая принципы работы, основные характеристики, преимущества и недостатки конкретных моделей, имеющих на рынке. Курс включает теоретическую информацию, некоторые детали конструкции аппаратов и их основные характеристики, важные для клинической эксплуатации:

- ✓ гамма-аппарат для дистанционной лучевой терапии;
- ✓ линейные ускорители электронов, которые используются для дистанционной лучевой терапии пучками фотонов и электронами высоких энергий порядка до 20 МэВ и включает основные конструктивные особенности, применение, особенности работы;
- ✓ ускорители протонных пучков (циклотроны, синхротроны), которые используются для дистанционной лучевой терапии, и включают основные конструктивные особенности, применение, особенности эксплуатации;
- ✓ аппараты для брахитерапии гамма-излучением, и включает в себя основные конструктивные особенности, применение, особенности эксплуатации;
- ✓ специальные аппараты, такие как установки для интраоперационной лучевой терапии, радиохирургии, МРТ-линейные ускорители, аппараты туннельного типа и т.д.

### **Основы патологии и онкологии**

Дисциплина реализуется профессорско-преподавательским составом СибГМУ и направлена на формирование у обучающихся навыков и умений применять знания общих законов, теорий и методов для анализа состояния здоровья и болезни, выполнять обработку и анализ данных, полученных при теоретических, клинических и экспериментальных исследованиях, осуществлять поиск, выделять и ранжировать факторы возникновения и развития патологического процесса и болезни, применять базовую терминологию и понятийный аппарат, излагать мотивированное заключение



о состоянии жизнедеятельности организма и характере его нарушений.

### **Математические методы в радиологии**

Результатом обучения по данной дисциплине выступает овладение выпускниками умениями использовать случайные числа для моделирования простых дискретных событий, случайные числа для моделирования непрерывных случайных величин и распределений, применять метод статистического моделирования прохождения и взаимодействия излучения с веществом и других физических процессов. Дисциплина предусматривает выполнение комплекса лабораторных работ, основными темами которых являются:

- ✓ способы генерации равномерно распределённых случайных чисел и способы их использования для моделирования простейших дискретных событий, как равномерных, так и подчиняющихся неравномерным распределениям;
- ✓ моделирование случайных точек в многомерном пространстве и какие задачи могут быть решены с их использованием;
- ✓ методы получения неравномерно распределённых случайных чисел и задачах, решаемых с их помощью.
- ✓ распределение Пуассона, моделирование развития популяции, моделирование радиоактивного распада и прохождения излучения через вещество.

### **Математические методы получения изображений в медицине и медицинская статистика**

Дисциплина обеспечивается преподавательским составом СибГМУ и нацелена на овладение выпускниками опытом применения программного обеспечения контроля качества и безопасности медицинского оборудования; описания процессов взаимодействия ионизирующего излучения с биологическими объектами; современных методов и программного обеспечения для оценки функциональной активности органов и систем организма человека; методов и программного обеспечения планирования экспериментальных исследований, а также для имитационного моделирования различных процессов; метода статистического моделирования прохождения и взаимодействия излучения с веществом и других физических процессов.

### **Планирование лучевой терапии**

Дисциплина охватывает основные аспекты планирования лучевого лечения: предлучевая подготовка на основе КТ, МРТ (УЗИ, ПЭТ)-сканеров, использование устройств иммобилизации, радиобиологический расчёт, дозиметрическое планирование, проведение лечения, обеспечение качества лучевой терапии и индивидуальных планов лечения. Представлены образцы заполнения медицинской и технической документации. В рамках практических занятий студентам демонстрируются основные подходы в иммобилизации пациента и предлучевой подготовке, а также документы по радиобиологическим расчётам. Освещаются физические и дозиметрические аспекты планирования, т.е. алгоритмы расчёта распределения доз в тканеэквивалентной среде для конвенциональной, конформной (3D CRT) и электронной ЛТ, современные методы лечения, такие как лучевая терапия с модуляцией интенсивности (IMRT\VMAT) для стереотаксиса и радиохирургии (SBRT/SRS), лучевая терапия под контролем средств визуализации (IGRT) на основе МВ- и кВ-излучения. Правила оценки плана представлены в соответствии с международными рекомендациями (ICRU 38, 50, 58, 62, 71 и 83) [4]. В рамках практических занятий студентам демонстрируют процесс создания дозиметрических планов и процесс их верификации на соответствующем оборудовании в клинической практике (лабораторные работы).

В рамках дисциплины предусмотрен раздел, посвященный фундаментальным понятиям физики и дозиметрии брахитерапии с высокой мощностью дозы. Настоящий раздел охватывают историю и развитие брахитерапии, терминологию, единицы измерения, радиобиологическую основу, текущую клиническую практику на базе международных рекомендаций, вопросы регулирования и радиационного контроля, а также современный дизайн оборудования. В рамках практических занятий студентам демонстрируется процесс создания дозиметрических планов на соответствующем оборудовании (лабораторные работы).

В ходе изучения дисциплины, выполняется курсовой проект по формированию:

- ✓ списка технических и функциональных характеристик радиотерапевтического оборудования и систем дозиметрического планирования для реализации определённых видов дистанционной и контактной лучевой терапии;

- ✓ набора и описания тестов для проведения процедур гарантии качества (ГК) работы соответствующего оборудования;
- ✓ списка необходимого дозиметрического оборудования для проведения проверок ГК.

### **Профессиональная этика**

В данном курсе описываются функции и обязанности медицинских физиков клинической квалификации, требования к штатной комплектации и организации их функций. Представлены рекомендации по академической и клинической подготовке медицинских физиков, а также этические правила для работающих в условиях клиники. Также рассмотрены все основные аспекты процессов планирования, проектирования, оснащения, организации технологических процессов и подразделений медицинской радиологии, создания радиологических и медико-физических центров. Кратко освещается научно-исследовательский подход в области медицинской физики с целью повышения эффективности применяемых радиационных методов в медицине [5, 6].

### **Радиохимия. Клиническое применение методов радионуклидной и рентгеновской диагностики**

В рамках обучения по дисциплине формируются навыки и умения: использовать физические основы высокотехнологических диагностических модальностей, методологические подходы анализа изображения, получаемого при использовании современного высокотехнологического лучевого диагностического оборудования; применять основные диагностические алгоритмы при исследовании органов и систем человека, выделять основные патологические синдромы при работе с демонстрационным материалом; владеть основными методами цифровой обработки изображений современных лучевых диагностических модальностей для осуществления диагностического процесса; выполнять научные исследования с использованием современного высокотехнологического диагностического оборудования; уметь формулировать и решать медико-инженерные задачи по инновационному направлению в современной диагностике для решения научных и производственных задач. Практическое применение данных умений происходит в процессе выполнения лабораторных работ на базе отделения лучевой диагностики СибГМУ, тем самым обеспечивается тесная связь

между теоретическим и практическим обучением и производством.

### **Радиохимия. Применение радионуклидов и радиофармпрепаратов в диагностике и терапии**

Процесс обучения организуется на площадке лаборатории производства радиофармпрепаратов исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т и циклотронного комплекса ТПУ. Студенты имеют возможность в реальном времени исследовать процессы получения и разделения радионуклидов в зависимости от их ядерно-физических и химических свойств, обеспечения и применения контроля качества при производстве радионуклидов и радиофармпрепаратов медицинского назначения; приобрести опыт сравнения, анализа и интерпретации основных требований нормативной документации российских и международных норм к процессам получения и контроля качества радионуклидов и радиофармпрепаратов и подбора оборудования по заданным параметрам. Выполнение практических заданий и лабораторных работ происходит под руководством ведущих специалистов – сотрудников исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ. Таким образом, применяемый подход позволяет поддерживать тесную связь между учебным процессом и производством в процессе реализации профессиональной подготовки будущих специалистов в области ядерной медицины.

### **Применение активных технологий обучения и организация самостоятельной работы студентов**

На разных этапах обучения по образовательной программе отдаётся предпочтение тем или иным целям и результатам обучения, что обуславливает применение различных образовательных технологий.

1. Информативно-развивающие технологии предполагают в различных сочетаниях изложение преподавателем учебной информации, использование лекционно-семинарского метода наряду с самостоятельным изучением литературы, применением информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации, в том числе из международных фондов. Одним из примеров, наглядно демонстрирующих применение лекционно-семинарского метода в учебном процессе, являются дисциплины

- “Ядерная физика”, “Радиационная безопасность в медицине”, “Основы патологии и онкологии” и другие. Студентам предлагается принять участие в коллоквиуме. Каждый обучающийся получает определённый набор вопросов и/или заданий, для ответа или решения которых от них требуется владение теоретическим материалом, с которым они познакомились на лекционном задании. Выполнение задания коллоквиума оценивается в баллах. Студент, набравший наибольшее количество баллов, считается “победителем” коллоквиума.
2. Практико-ориентированные технологии включают в себя анализ конкретных производственных ситуаций, решение ситуационных производственных задач, моделирование профессиональной деятельности в учебном процессе, контекстное обучение, организацию профессионально-ориентированной учебно-исследовательской работы. Примером внедрения практико-ориентированных технологий может служить дисциплина “Профессиональная этика”, в ходе изучения которой студенты выполняют индивидуальные домашние задания, “погружающие” студентов в профессиональную деятельность. Например, каждому студенту предлагается составить конфликтные ситуации, возникающие внутри отделений между сотрудниками различных специальностей, а также привести несколько вариантов решения данного конфликта с разъяснениями в соответствии с должностными инструкциями и сферой ответственности.
  3. Развивающие проблемно-ориентированные технологии включают в себя различные виды проблемного обучения: проблемные лекции и семинары, учебные дискуссии, поисковые лабораторные, научно-исследовательские работы, организационно-деятельные игры, коллективную мыслительную и проектную деятельность. Данные технологии применяются практически во всех дисциплинах образовательной программы. В качестве примера приведем дисциплину “Математические методы получения изображений в медицине и медицинская статистика”. Обучающимся предлагается сформулировать решение ситуационных задач по теме, например, “Врач-рентгенолог оставил в журнале технического обслуживания запись следующего содержания: “При включении оборудования было получено сообщение о необходимости выполнения текущего технического обслуживания в течение ближайших 10 дней”. Определите и объясните, какими будут ваши действия: 1) запретить эксплуатацию оборудования до выполнения ТО. 2) запретить рентгенологу записывать в журнал такие сообщения. 3) продолжить эксплуатацию оборудования и организовать техническое обслуживание.
  4. Проблемное обучение активно используется в рамках преподавания ряда дисциплин, в частности, “Дозиметрия и защита от ионизирующего излучения”. Перед обучающимися ставится проблема, которую они должны решить самостоятельно без помощи преподавателя на индивидуальной основе или в групповой форме. Например, теоретический раздел занятия на тему “Пределы доз, контрольные уровни и уровни многофакторного воздействия ионизирующего излучения” направлен на углублённое изучение требований нормативных документов по ограничению облучения человека в рабочих условиях обращения с источниками излучения, а также населения. После изучения обозначенных вопросов предлагаются типовые задачи, требующие поиска исходных данных и расчёт доз внутреннего облучения населения и персонала в различных типовых ситуациях.
  5. Личностно-ориентированные технологии обучения. Их особенность заключается в организации обучения, обеспечивающего учёт способностей обучаемых и создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей. Одним из примеров внедрения личностно-ориентированных технологий может служить дисциплина “Основы онкологии и патологии”. Каждому студенту предлагается выполнить индивидуальное задание в виде ситуационной задачи. Например, “У больной, 52 лет, поступившей в клинику с подозрением на рак желудка внезапно началось массивное кровотечение. Пациентка была прооперирована (произведена гастроэктомия). В ходе противошоковой терапии, начатой во время операции, больной ввели 2 л цельной донорской крови и 1,5 л плазмозаместителей. На 3-и сутки после операции, несмотря на восстановление нормальной концентрации гемоглобина в крови, состояние пациентки оставалось тяжёлым: больная жаловалась на слабость, головную боль и головокружение, урежение мочеиспускания. Объективно: кожа рук и ног холодная, пульс частый и слабый, АД снижено (65/35 мм рт.ст.), олигурия, тяжёлые расстройства внешнего

дыхания и желтушная окраска кожи и склер. Какое состояние наблюдалось у больной на 3-и сутки после операции? Каковы причины и механизмы развития данного состояния?”. Данный пример наглядно демонстрирует личное отношение обучающегося к поставленной проблеме, самостоятельный поиск решения и объяснения сложившейся ситуации с опорой на ранее полученные в ходе теоретической подготовки знания.

В результате реализации описанных выше образовательных технологий у выпускников формируются универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, соответствующие целям образовательной программы.

### Материальное обеспечение образовательной программы

Для подготовки магистров по дисциплинам, реализуемым в рамках данной образовательной программы, задействованы лаборатории ТПУ, оснащенные соответствующим программным и методическим обеспечением: лаборатория для работ с источниками ионизирующих излучений, лаборатория анализа ядерных и радиоактивных материалов, лаборатория материалов ядерной техники, лабораторная база исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т, исследовательский циклотрон ТПУ. Ключевым отличием подготовки магистров по данной программе является совместная подготовка в техническом и медицинском университетах с привлечением современной лабораторной базы ОГА-УЗ “ТООД”, наличие многолетнего (более 25 лет) опыта разработки и производства медицинских радиофармпрепаратов с использованием таких базовых установок ТПУ, как исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т и циклотрон Р-7М, нали-

чие уникальной для России технологии и оборудования интраоперационной лучевой терапии на базе бетатронов ТПУ.

Руководитель образовательной программы “Nuclear medicine”: Верхотурова Вера Викторовна, зам. директора – руководитель международных ядерных образовательных программ Инженерной школы ядерных технологий (verhoturova@tpu.ru).

### Список литературы

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования № 152. Магистратура по направлению подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии. – Изд. Министерство образования и науки Российской Федерации, Москва, 2018.
2. Сухих Е.С., Сухих Л.Г., Вертинский А.В., Клиновицкая М.И. Клиническая дозиметрия рентгеновского излучения. – Изд. “Томский политехнический университет”, Томск, 2021. 85 с.
3. Сухих Е.С., Сухих Л.Г., Вертинский А.В. и др. Дозиметрическое планирование и контроль качества брахитерапии с высокой мощностью дозы. – Изд. “Томский политехнический университет”, Томск, 2020. 115 с.
4. Сухих Е.С., Вертинский А.В., Сухих Л.Г. и др. Дозиметрическое планирование конформной лучевой терапии. – Изд. “Томский политехнический университет”, Томск, 2020. 66 с.
5. IAEA. Human health series № 25. Roles and responsibilities, and education and training requirements for clinically qualified medical physicists. 2013. 71 p.
6. IAEA. Training course series № 56. Postgraduate medical physics academic programmes. 2013. 27 p.

### DEVELOPMENT AND USE OF THE MODULAR EDUCATIONAL PROGRAM “NUCLEAR MEDICINE” FOR TRAINING MEDICAL PHYSICISTS (MASTERS)

V.V. Verhoturova<sup>1</sup>, Yu.Yu. Veber<sup>1</sup>, E.S. Sukhikh<sup>1,2</sup>, L.G. Sukhikh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup> Tomsky Regional Oncology Center, Tomsk, Russia

The presented modular educational master's program “Nuclear Medicine” for medical physicists, developed in cooperation between two universities (TPU and Siberian State Medical University) and a medical organization in the field of oncological diseases Tomsk regional Oncology Center, is available for students of the Russian Federation and Countries of the former Soviet Union, as well as for foreign students. The educational program is aimed at training masters who are able to effectively carry out professional activities in such areas as “Nuclear Industry (in the use of nuclear physics and technology)” and “Education and Science (in the field of scientific research in nuclear physics and technology)”.

Key words: *medical physicists, modular educational program, master of science*

E-mail: [verhoturova@tpu.ru](mailto:verhoturova@tpu.ru)