

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Кафедра Прикладная физика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Создание модели фотонного пучка терапевтического ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC

УДК 539.122:621.384.6:616

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Хасенова Индира Женсбековна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник отдела медицинской физики ОГАУЗ «ТООД»	Сухих Е.С.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ ТПУ	Вагнер А.Р.	к.ф.-м.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКОВ)

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов,

	систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Кафедра Прикладная физика

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Вагнер А.Р.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
ОАЗА	Хасеновой Индире Женсбековне

Тема работы:

Создание модели фотонного пучка терапевтического ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	545/с от 31.01.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду; экономический анализ и т. д.).</i>	1. Линейный ускоритель Elekta Synergy; 2. Система планирования PLUNC. 3. Техническая документация для гамма-терапевтического аппарата ионизационной камеры FC65-G, ионизационной камеры CC13. Физические параметры водного фантома Blue Phantom.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Аналитический обзор литературы по теме возможности использования плоскопараллельной ионизационной камеры PPC40 для клинической дозиметрии. 2. Рассмотрение методик определения поглощенной дозы в фантоме. 3. Постановка актуальности, цели и задач исследования. 4. Экспериментальное исследование и математическая обработка полученных результатов. 5. Создание модели фотонного пучка терапевтического ускорителя Elekta Synergy в

	системе планирования PLUNC 6. Анализ полученных результатов. Сравнение экспериментальных результатов и результатов моделирования. Выводы.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность	Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.01.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник отдела медицинской физики ОГАУЗ «ТООД»	Сухих Е.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Хасенова Индира Женсбековна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Физико-технический
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Кафедра Прикладная физика

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.2017	Обзор литературных источников и технической литературы	10
30.03.2017	Экспериментальные измерения и обработка полученных данных	10
15.04.2017	Создание модели фотонного пучка терапевтического ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC	10
13.05.2017	Обработка результатов. Сравнение результатов моделей и экспериментальных результатов. Выводы.	10

Составил:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник отдела медицинской физики ОГАУЗ «ТООД»	Сухих Е.С.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПФ ФТИ ТПУ	Вагнер А.Р.	к.ф.-м.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Хасеновой Индиры Женсбековны

Институт	ФТИ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерная физика и технологии/Радиационная безопасность человека и окружающей среды

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Потенциальные потребители результатов исследования 2. Анализ конкурентных технических решений
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ 3. Разработка графика проведения научного исследования 4. Бюджет научно – технического исследования (НТИ) 4.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ 4.2 Основная заработная плата исполнителей темы 4.3 Отчисления на социальные нужды 4.4 Накладные расходы 4.5 Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Перечень графического материала:

1. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф МЕН ИСГТ	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Хасенова Индира Женсбековна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А3А	Хасеновой Индиры Женсбековне

Институт	ФТИ	Кафедра	ПФ
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Радиационная безопасность человека и окружающей среды

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:	– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шум, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы)
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – радиационная безопасность при эксплуатации электроустановок – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 10.04.2017

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3А	Хасенова Индира Женсбековна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 116 страниц, 21 рисунок, 19 таблиц, 12 источников.

Ключевые слова: лучевая терапия, система планирования, модель пучка, клиническая дозиметрия.

Объектом исследования является система планирования PLUNC.

Цель работы – создание и верификация модели фотонного пучка ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC.

В процессе выполнения данной работы была создана модель фотонного пучка ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC и проведена его верификация по абсолютной дозе.

В дальнейшем планируется проведение верификации и сравнение полученных результатов с коммерческими системами дозиметрического планирования.

Область применения: медицина (лечение онкологических заболеваний), дозиметрия.

Оглавление

Реферат	9
Введение.....	12
Глава 1. Система планирования PLUNC	15
1.1 Описание системы планирования PLUNC	15
1.2 Принцип работы системы PLUNC	16
1.3 Количественная оценка плана облучения в системе PLUNC	18
1.4 Алгоритмы расчета поглощенной дозы в системе планирования.....	20
1.4.1 Метод дифференциального тонкого луча (Convolution).....	21
1.4.1 Метод конечного тонкого луча (Superposition).....	22
Глава 2. Используемое оборудование.....	24
2.1 Терапевтический линейный ускоритель Elekta Synergy	24
2.2 Анализатор дозного поля Blue Phantom	25
2.3 Цилиндрическая камера FC65-G	26
2.4 Ионизационная камера CC13	27
2.5 Клинический дозиметр Dose-1	27
Глава 3. Экспериментальные исследования.....	29
3.1 Относительная дозиметрия	29
3.2 Абсолютная дозиметрия	34
Глава 4. Создание и верификация модели фотонного пучка ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC	37
Заключение.....	40
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	41
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	42
5.2 Анализ конкурентных технических решений	43
5.3 SWOT - анализ	45
5.4 Планирование научно-исследовательской работы	47
5.5 Определение трудоемкости выполнения НИОКР	48

5.6 Разработка графика проведения научного исследования	49
5.7 Календарный план-график в виде диаграммы Ганта	51
5.8 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	52
5.9 Расчет материальных затрат НТИ	52
5.10 Основная заработная плата исполнителей темы.....	53
5.11 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	55
5.12 Накладные расходы	56
5.13 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	57
5.14 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	57
Глава 6. Социальная ответственность.....	61
6.1 Характеристика условий труда	61
6.2 Требования к ПЭВМ и организация работы.....	63
6.2.1 Организационные мероприятия.....	63
6.2.2 Технические мероприятия	63
6.3 Анализ выявленных вредных факторов	65
6.3.1 Микроклимат	65
6.3.2 Электробезопасность.....	68
6.3.3 Шум и вибрация.....	71
6.3.4 Пожарная и взрывная безопасность	71
6.3.5 Освещение.....	74
6.3.6 Ионизирующее излучение	74
6. 4 Анализ выявленных опасных факторов.....	75
6.4.1 Электробезопасность.....	75
Приложение А.	78
Список используемых источников.....	115

Введение

Медицинская физика – молодая перспективная наука, находящаяся на стыке двух важнейших научных дисциплин – физики и медицины.

Значение медицинской физики для практического здравоохранения растет с каждым годом. Данный рост обуславливается не только увеличением количества сложных технологий и аппаратов в диагностике и лечении, но и ростом непосредственно зарегистрированных случаев заболеваний. К их числу можно отнести злокачественные онкологические заболевания. По данным ВОЗ в 2015 году 8,8 миллионов человек умерли от рака, что составляет один из шести случаев смерти во всем мире [1]. На сегодняшний день медицина имеет в своем арсенале широкий спектр физических технологий и оборудования для диагностики и лечения, профилактики и терапии данной категории заболеваний.

На данный момент, существует несколько видов лечения рака: хирургическое и химиотерапевтическое лечение, гормональная терапия, лучевая терапия, и различные их комбинации. Назначение лучевой терапии (ЛТ) показано (70÷75)% онкологическим больным [2].

Лучевая терапия является основополагающим элементом в области высоких медицинских технологий, потенциал которой осуществляется посредством детального планирования облучения и тщательного выполнения всех правил и регламентов в процессе длительного лечения (как правило, оно составляет около двух месяцев).

Традиционно под дозиметрическим планированием лучевой терапии понималось определение распределений поглощённой дозы в ткнеэквивалентной среде, учитывая характеристики пучков (радиационные поля) ионизирующего излучения. Однако с приходом компьютерных технологий и бурного развития методов диагностики и технологий для получения и расшифровки медицинских изображений планирование лучевой терапии развилось в еще более сложный процесс, в котором для определения местонахождения, объема и контура опухоли используются снимки в формате DICOM компьютерного или

магниторезонансного томографа, результаты расчета которого отображаются посредством изодозных поверхностей и кривых, наложенных на трехмерное изображение поперечных сечений тела пациента, в котором для выбора оптимальных параметров пучков и расчета дозовых распределений используются специальные программы и системы планирования [3].

Несмотря на сравнительно недавнее появление медицинских физиков, им предъявляются высокие требования, которые предполагают наличие не только базового физико-математического образования, дополнительной медицинской подготовки высокого уровня, но и наличие навыков в области дозиметрического планирования контактного и дистанционного облучения, в области расчетов дозовых характеристик полей и пучков, компьютерных систем дозиметрического планирования и их программного обеспечения [4]. Именно это и обуславливает актуальность внедрения системы планирования в образовательных целях.

Пространственное распределение дозы в теле пациента, получающего лучевую терапию измерить очень трудно. Обычно распределение дозы для каждого конкретного больного и способа облучения получают с помощью расчетов. Именно поэтому важно допустить минимальную погрешность на этапе дозиметрического планирования облучения. Основной его задачей и критерием качества является обеспечение максимума дозы в опухоли при минимальных лучевых поражениях в окружающих опухолевый очаг здоровых органах и тканях, дозовые распределения в которых представляются в виде совокупности изодозных кривых [3]. Для достижения такой точности практически современные системы дозиметрического планирования опираются на экспериментальные измерения распределения поглощенной дозы в различных фантомах. Не менее важным обстоятельством, способствующим широкому распространению фантомов, является необходимость определения дозовых распределений внутри тела пациента и объема камеры.

Сегодня существует большое количество разных видов фантомов. Они изготавливаются из разных материалов, имеют разные размеры и форму. Фантомы бывают гомогенные, гетерогенные и антропоморфные. Но наибольшее

распространение получили фантомы из воды и близких к воде материалов (по эффективному атомному номеру и плотности электронов).

Согласно техническому документу Международного агентства по атомной энергии «Об эксплуатации и обеспечении качества компьютеризированных систем терапевтического планирования», в процессе лечения должны применяться алгоритмы, обеспечивающие необходимую точность (с погрешностью не более 3-5%) расчет дозовых распределений в организме человека; алгоритмы должны учитывать неоднородность облучаемой среды, сложную конфигурацию внутренних органов и внешних контуров тела, спектрально-угловые характеристики пучка излучения [5].

Глава 1. Система планирования PLUNC

1.1 Описание системы планирования PLUNC

Одной из первостепенных задач лучевой терапии на протяжении всего периода ее применения является соблюдение основного радиотерапевтического принципа: уменьшение лучевой нагрузки на окружающие опухоль здоровые ткани и максимальное повреждающее действие на объем опухоли.

В процессе диагностики и подготовки к лучевому лечению наибольшее значение имеет максимально точное определение распространенности и характеристик опухолевого процесса: локализации, размеров и конфигурации опухолевых очагов, являющихся мишенью радиотерапевтического воздействия, а также оценка состояния находящихся рядом критических органов. При этом обязательно использование максимально возможной информации, получаемой при применении современных диагностических (рентгенологических, ультразвуковых, магниторезонансных, радиоизотопных) методов исследования.

Расчет планов облучения осуществляется с использованием специальных программ. Одной из таких является программа PLUNC (рис. 1).

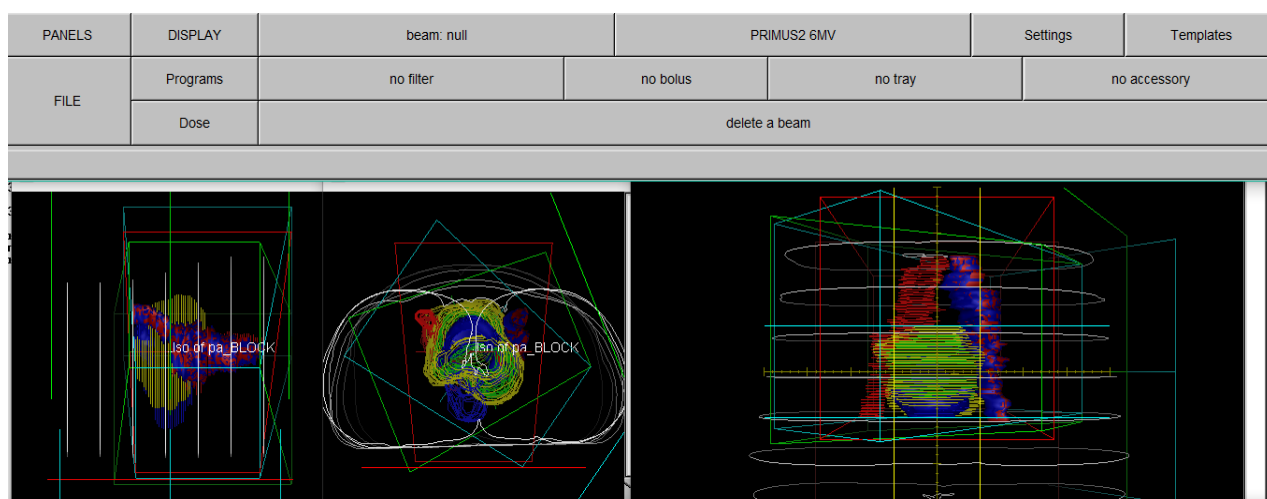


Рисунок 1 – Стартовое окно системы планирования PLUNC

PLanUNC это программное обеспечение, позволяющее создавать планы лучевой терапии для индивидуальных пациентов. Оно состоит из набора

модулей, библиотек, и баз данных, обеспечивающих набор возможностей лучевой терапии планирования, которые включают, но не ограничиваются:

- оконтуриванием анатомического строения
- записью/регистрацией изображений
- расчетом дозы используемой при лучевой терапии
- анализом и отображением гистограмм изодозового распределения
- сравнением и созданием единого плана лечения
- расчетами для оптимизации дозы в IMRT (Intensity-Modulated RadioTherapy)
- разработкой планов лечения для терапевтических машин

1.2 Принцип работы системы PLUNC

Планирование лучевой терапии в PLUNC включает в себя следующие этапы:

1. Создание каталога и входного файла изображения пациента;
2. Создание плана лучевой терапии:
 - 2.1. Оконтуривание пациента (кожа, органы риска, опухоль);
 - 2.2. Создание дизайна плана лечения (отображение изображений и контуров);
 - 2.3. Добавление пучков и создание геометрии облучения;
3. Расчет дозы

Подробный алгоритм по созданию каталога пациента и входного файла изображения приведен в приложении А.

Оконтуривание является важнейшим этапом при создании плана лечения пациента. Включает в себя процесс определения области мишени, органов риска и контуров тела человека. Для проведения оконтуривания в программном продукте PLUNC необходимо запустить редактор контуров – *Anastruct Editor*. Он включает в себя необходимый инструментарий для выполнения оконтуривания. Также предусмотрена функция

автоконтурирования, что с учетом наличия большого числа срезов пациента делает процесс оконтуривания более быстрым и удобным для пользователя.

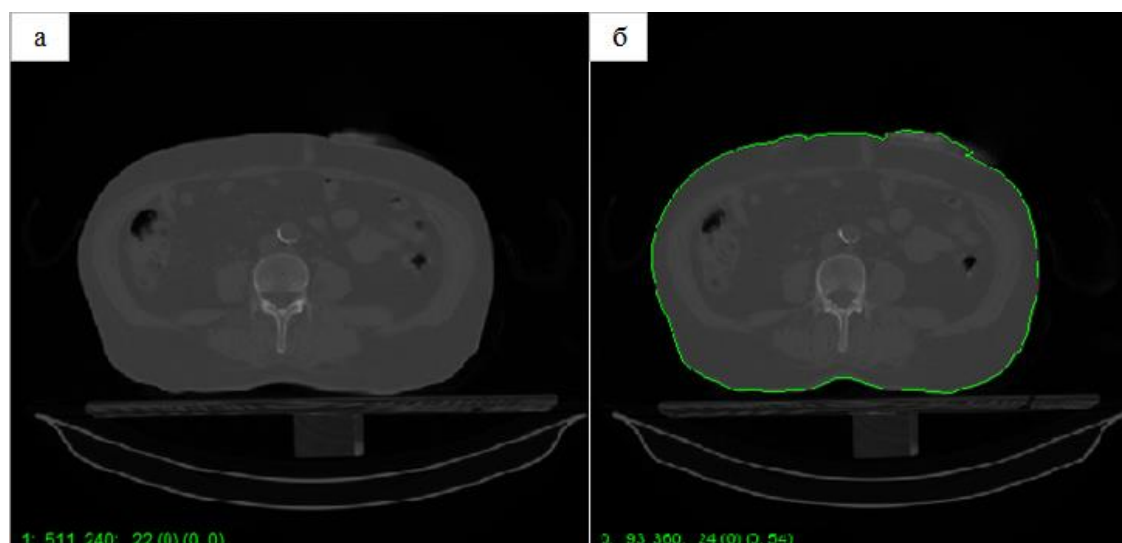


Рисунок 2 – Проведение оконтуривания пациента: а – изначальный снимок пациента, б – снимок пациента с выделением контура кожи

Важную роль играет дизайн плана лечения. Система планирования PLUNC позволяет редактировать «Вид из пучка» для более наглядного процесса создания плана лечения.

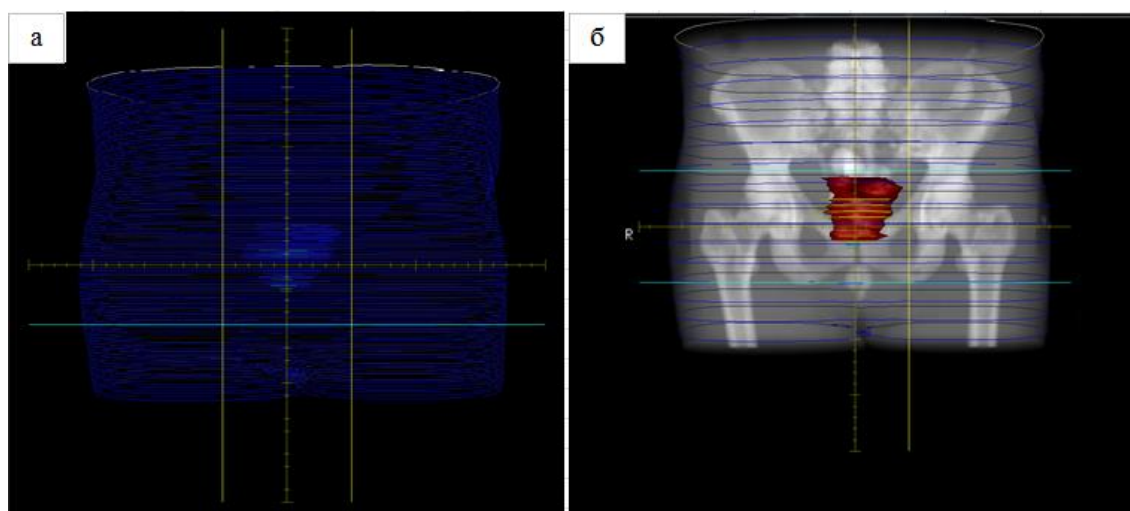


Рисунок 3 – Редактирование окна «Вид из пучка»: а – неотредактированный вид, б – отредактированный вид

Выбор правильной геометрии облучения является одним из гарантов достижения основной цели лучевой терапии, а именно необходимости обеспечения максимального поражения раковых клеток, при минимальном воздействии на здоровую ткань. На рисунке 4 приведен пример добавленного

пучка. Одним из преимуществ данной системы планирования является возможность редактирования угла коллиматора, поворота стола пациента.

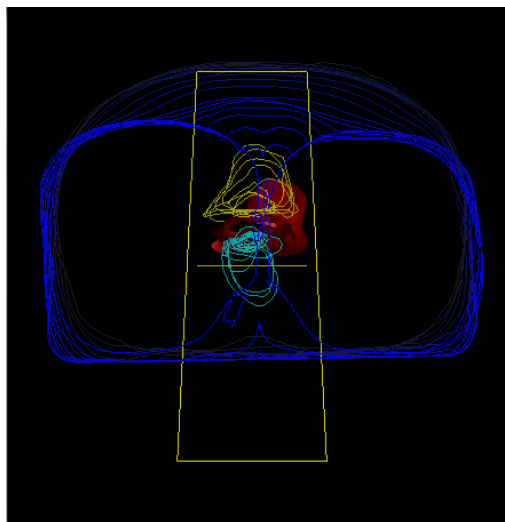


Рисунок 4 – Пример добавленного пучка

Команда *Dose* на главной панели управления PLUNC позволяет редактировать значение доставляемой объему опухоли дозы и рассчитывать значения мониторинжных единиц. На рисунке 5 приведен пример окна редактирования дозы с выделением различных областей получающих дозу (объем опухоли, органы риска, кожа).

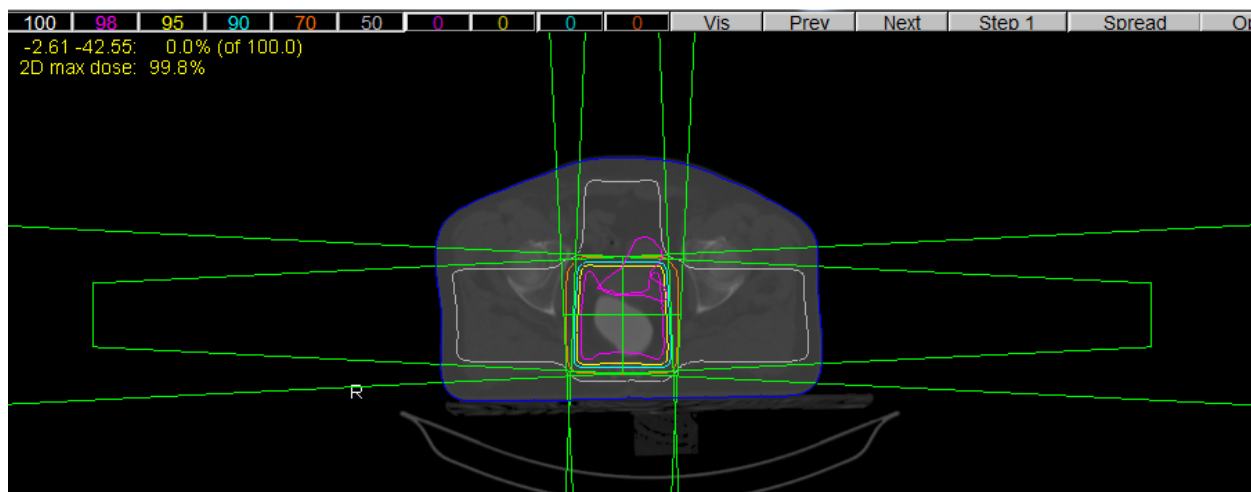


Рисунок 5 – Окно редактирования дозы

1.3 Количественная оценка плана облучения в системе PLUNC

При трехмерном планировании план облучения представляет собой трехмерный массив значений доз в точках распределенных в объеме пациента.

Среднее значение численности подобных точек достигает нескольких сот тысяч. Анализ подобных данных не тривиален. В настоящее время для этого широко используются гистограммы типа доза-объем (ГДО или DVH). Они позволяют суммировать информацию, содержащуюся в трехмерных дозовых распределениях, и являются мощным средством для количественной оценки плана облучения.

В простейшей форме гистограмма доза - объем представляет частотное распределение дозовых значений внутри определенного объема. Вместо частоты обычно применяется величина «процент объема от полного объема», которая откладывается по оси ординат, а по оси абсцисс откладывается значение дозы. На практике используются два вида ГДО: прямая / дифференциальная или кумулятивная / интегральная.

При создании прямой ГДО суммируется число вокселей со средней дозой внутри заданного интервала и рисуется процент от полного объема органа как функция дозы.

При создании кумулятивной ГДО компьютер рассчитывает величину объема мишени (или OAR), которая получает дозу меньше или равную заданному значению, и рисует график зависимость величины объема (или процент от полного объема) от значения дозы (рис.6.).

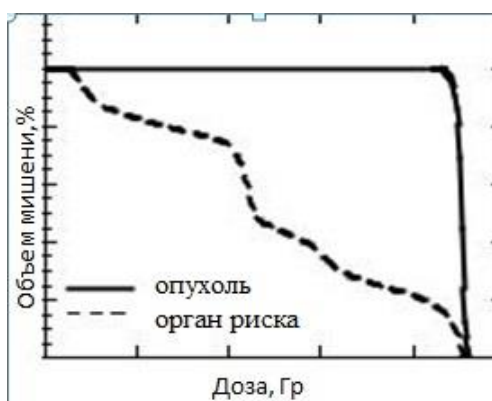


Рисунок 6 – Кумулятивная (интегральная) гистограмма

Для расчета и оценки дозы получаемой каждым объемом тела пациента в системе планирования PLUNC также существует возможность построения

диаграммы DVH. На экране отобразятся диаграммы, посредством их сравнения выбирается наиболее приемлемый для лечения органов метод.

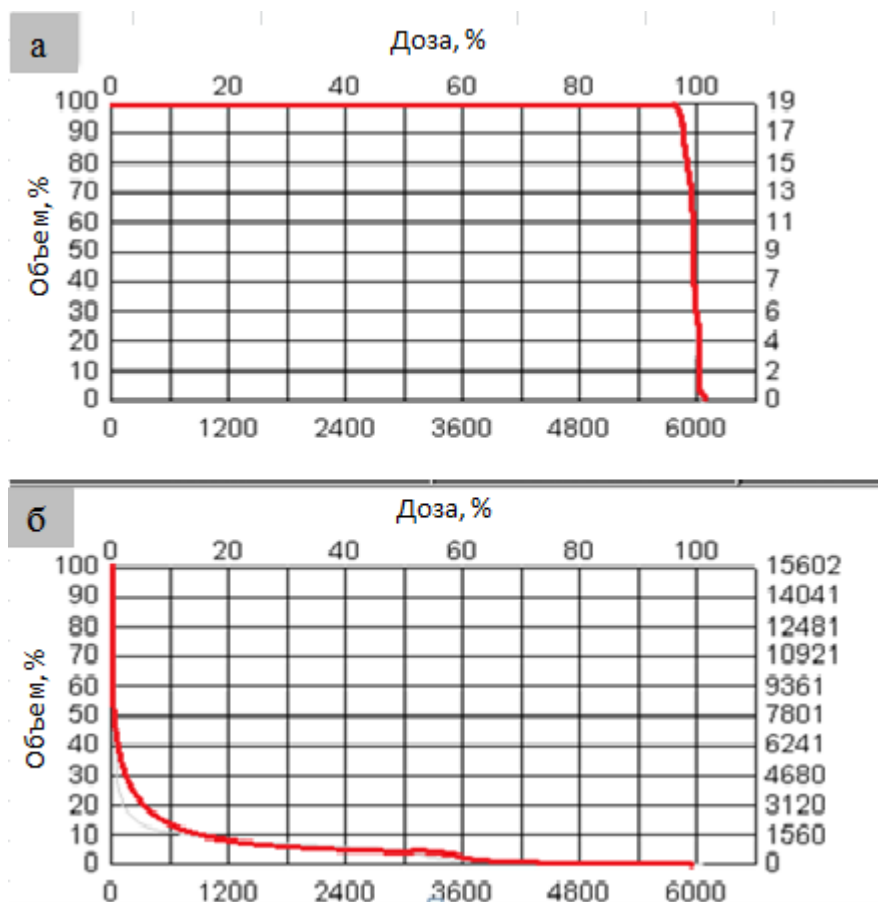


Рисунок 7 – Кумулятивная (интегральная) гистограмма построенная в системе планирования PLUNC: а – для объема опухоли, б – для органа риска

1.4 Алгоритмы расчета поглощенной дозы в системе планирования

Современные методы лечения в клинической лучевой терапии требуют повышенного внимания к точности и скорости алгоритмов расчета дозы. Высоко модулированные пучки, используемые в методах IMRT также требуют расчета точной дозы, особенно в случаях сложных неоднородностей тканей, причем любая сколь угодно высокая точность не может обеспечиваться за счет длительных времен вычислений.

Прогнозируемая доза расчетного метода должна как можно точнее соответствовать реальной поглощенной дозе в теле пациента. Доза, которую получает опухоль, должна быть близка к рекомендованному уровню доз,

которая предписана для получения наилучшего результата для конкретного вида опухоли. Для критических органов существуют определенные уровни доз, которые не должны быть превышены, чтобы избежать серьезных побочных эффектов от облучения.

Современная система расчета доз, предназначенная для регулярного планирования, должна решать следующие задачи:

1. Модель расчета должна быть применима к различным конфигурациям пучка, и различным расстояниям источник-поверхность (РИП).
2. Должны быть точно смоделированы все гетерогенности тканей.
3. Полученный пучок излучения от медицинского линейного ускорителя должен определяться только ограниченным набором технической информации.
4. Модель пучка должна быть адаптирована к индивидуальной лечебной установке.
5. Время расчета должно быть достаточно быстрым, чтобы облегчить интерактивное планирование.

1.4.1 Метод дифференциального тонкого луча (Convolution)

В литературе этот метод часто имеет название «метод суперпозиции/метод свертки». Для его пояснения в за частую приводят алгоритм расчета дозы, которая создается в произвольной точке некоего объема первичным излучением, испытавшим взаимодействие в элементе данного объема и находящимся вблизи точки в гомогенной среде с атомным номером z и плотностью ρ .

Для получения полной дозы необходимо воспользоваться методом свертки распределения интенсивности поля с ядром дифференциального тонкого луча, которое получено из измеренных данных пучка, и провести интегрирование по всему облучаемому объему, энергии и направлению движения первичных фотонов.

Аналитически рассчитанная доза выражается:

$$D(x, y, z; F) = \frac{(f+z_{ref})^2}{(f+x)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) P_{int}(u, v, z) K(x-u, y-v, z) du dv \quad (1)$$

где f - это РИП (расстояние источник – поверхность), $F(x, y)$ – функция интенсивности поля, $P_{int}(x, y, z)$ - интенсивность профиля, $K(x, y, z)$ – ядро дифференциального тонкого луча, z_{ref} - референсная глубина используемая для нормализации.

Расчет по формуле 1 выполняется только для пяти стандартных глубин, чтобы уменьшить время расчета, доза для других глубин интерполируется. Для того, чтобы проводилась точная интерполяция, доза на произвольной глубине Z вычисляется как:

$$D(x, y, z; F) = D_a(z; F) P(x, y, z; F), \quad (2)$$

где $D_a(z; F)$ - это ГПД (глубинная процентная доза) вдоль оси пучка и $P(x, y, z; F)$ соотношение вне оси.

1.4.1 Метод конечного тонкого луча (Superposition)

В основе алгоритма конечного тонкого луча лежат следующие предположения:

- пучок излучения может быть геометрически разделен на конечное число небольших пучков меньших размеров (рис.8);
- все конечные тонкие лучи идентичны по поперечным сечениям и создаваемым ими дозовым распределениям;
- началом излучения является точечный источник;
- суперпозиция дозовых распределений конечных тонких лучей дает дозовое распределение всего пучка;
- каждый конечный тонкий луч имеет взвешенный флюенс падающих фотонов, который может изменяться вместе с позицией конечного тонкого луча в пучке [4].

В соответствии с данной моделью доза в конкретной точке рассчитывается при помощи формулы:

$$D_Q = \sum_{i,j=0}^{n,m} W_{i,j} \cdot K_{i,j}^Q \cdot \Delta A, \quad (3)$$

где $K_{i,j}^Q$ – доза в точке Q, которая создается конечным тонким лучом, находящимся в i, j – позиции;

$$W_{ij} = \Phi_{ij}^0 \cdot e^{-\mu \cdot t_{ij}} \cdot ISC, \quad (4)$$

$\Phi_{i,j}^0$ – флюенс первичного излучения в воздухе через поперечное сечение на входной поверхности без учета ослабления в дополнительных поглотителях;
 $e^{-\mu t_s}$ – поправка на поглощение при прохождении через фильтр;
ISC – поправка на ослабление по закону обратных квадратов;
 ΔA – площадь поперечного сечения КТЛ на входной поверхности.

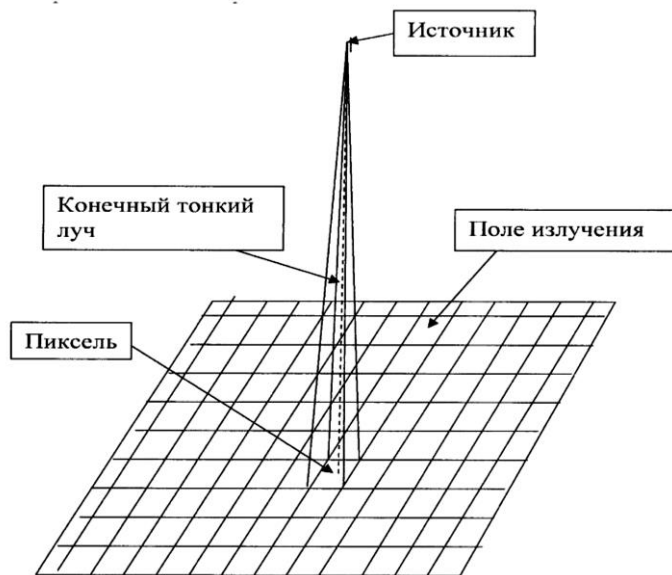


Рисунок 8 – Представление поля облучения в виде суперпозиции конечных тонких лучей

Глава 2. Используемое оборудование

2.1 Терапевтический линейный ускоритель Elekta Synergy

Медицинский линейный ускоритель заряженных частиц - это устройство, которое используется для проведения наружной радиотерапии при злокачественных новообразованиях любых тканей и органов.

Высокоэнергетический линейный ускоритель Elekta Synergy с модуляцией интенсивности и расширенным визуальным контролем предназначен для целей лучевой терапии.

Elekta Synergy – это первый линейный ускоритель, в котором система 3D-визуализации внедрена в лечебный процесс (IGRT). Система укомплектована средствами визуализации, которые помогают врачу точно задать контуры подлежащей лечению опухоли и соседствующих здоровых тканей, а также учесть их возможные движения во время фракций и между ними. Интеграция этой технологии в гэнтри (подвижную часть) линейного ускорителя Elekta Synergy дает возможность оптимизировать размещение пациента до начала терапии.



Рисунок 9 – Высокоэнергетический линейный ускоритель Elekta Synergy

Данный ускоритель был разработан для подачи лечебных пучков рентгеновских лучей и электронов для широкого диапазона стандартных и новейших методов лучевой терапии. Ускоритель имеет широкий диапазон энергий для пучков фотонов (6МэВ, 10МэВ) и для пучка электронов (6 – 10 МэВ) [6].

Ускоритель включает в себя ряд эффективных комплектующих: многолепестковый коллиматор MLC, систему портальной визуализации iViewGT, систему визуализации XVI [7].

2.2 Анализатор дозного поля Blue Phantom

Водный фантом – прямоугольный бак с водой, внутри которого находится подвижный механизм для перемещения детектора излучения в пределах измеряемого объема в режимах непрерывного и пошагового сканирования.

Управление механизмом осуществляется специализированным блоком управления через соединительный кабель. Также управление перемещениями камеры может осуществляться вручную с пульта управления. Регулировка уровня сканирующего механизма может производиться независимо от уровня фантома. Имеются индикаторы положений датчика по различным направлениям сканирования и индикатор уровня.



Рисунок 10 – Водный фантом Blue Phantom

Анализатор дозного поля Blue Phantom предназначен для целей клинической дозиметрии, основное назначение которой – обеспечить подведение заданной дозы к выбранной врачом мишени (опухоли) с высокой точностью при минимальном поражении здоровых органов и тканей. На рисунке 10 изображена система Blue Phantom [8].

2.3 Цилиндрическая камера FC65-G

Ионизационная камера FC65-G (рисунок 11) предназначена для абсолютной и относительной дозиметрии пучков фотонов и электронов в области лучевой терапии [9].

Основные технические характеристики:

- водонепроницаемая, вентилируемая;
- чувствительный объем: $0,65 \text{ см}^3$;
- диаметр: 7 мм;
- материал внешнего электрода – графит;
- центральный электрод – алюминий;
- толщина стенки – $0,073 \text{ г/см}^3$.
- $N_{D,w} = 4,828 \cdot 10^7 \text{ Гр/Кл}$



Рисунок 11 – Цилиндрическая ионизационная камера FC65-G

Измерения могут быть выполнены в воздухе, водном или в твердотельном фантоме. Диапазон измерений мощности дозы от 1 мГр/мин до 51 Гр/мин . Энергетический диапазон для фотонов от 70 кэВ до 50 МэВ .

2.4 Ионизационная камера СС13

Ионизационная камера СС13 предназначена для абсолютной и относительной дозиметрии электронных и фотонных пучков, применяемых в радиотерапии. Измерения могут производиться в воздухе, водном фантоме или твердотельных фантомах.

Камера СС13 имеет небольшой объем камеры с высоким пространственным разрешением. Камера является водонепроницаемой, с вентиляцией через водонепроницаемый рукав, и полным ограждением от окружающей среды.



Рисунок 12 – Ионизационная камера СС13

Основные технические характеристики:

- водонепроницаемая, вентилируемая;
- чувствительный объем $0,125 \text{ см}^3$;
- стенка из графита;
- центральный электрод – алюминий;
- толщина стенки – $0,073 \text{ г/см}^3$.

2.5 Клинический дозиметр Dose-1

В качестве ассоциированного измерительного прибора для точного определения абсолютных доз рекомендуется использовать клинический дозиметр Dose-1.

Клинический дозиметр Dose-1 (рисунок 13) – переносной одноканальный опорный прибор, соответствующий международным рекомендациям МЭК 60731 и AAPM ADCL. Прибор в комплексе с

ионизационными камерами используется для измерения абсолютной дозы в пучках гамма-излучения, рентгеновского излучения, высокоэнергетичных фотонов, электронов, протонов и тяжелых ионов для целей лучевой терапии онкологических заболеваний. При условии соответствующей аттестации, прибор может быть использован как образцовый (вторичный эталон) для целей метрологии, для поверки клинических дозиметров полевого класса.



Рисунок 13 – Клинический дозиметр Dose-1 [10]

К наиболее примечательным характеристикам прибора можно отнести:

1) Большой динамический диапазон измерительного канала, в связи, с чем не требуется переключение диапазона при работе. Достаточно лишь указать правильный тип подключаемого детектора (ионизационная камера или полупроводниковый детектор), и дальнейшее переключение диапазонов будет происходить автоматически.

2) Dose-1 измеряет ток и заряд. На основании введенных коэффициентов калибровки и коррекции, возможен расчёт общеупотребительных дозиметрических величин в соответствующих единицах. Управление прибором возможно с помощью дисплея и клавиатуры на самом приборе.

3) В памяти аппарата содержатся следующие библиотеки (базы данных): библиотека детекторов, в которой содержится информация о физических параметрах и калибровочных коэффициентах для большинства общеупотребительных детекторов, библиотека коэффициентов коррекции, и библиотека контрольных источников [10].

Глава 3. Экспериментальные исследования

3.1 Относительная дозиметрия

Относительная дозиметрия - обязательная и важная часть работы современного отделения лучевой терапии. Медицинские физики должны быть уверены в надежности своего оборудования и достоверной реализации сложных технологий, которые позволяют подвести предписанную дозу к мишени с наименьшей нагрузкой на здоровые ткани.



Рисунок 14 – Проведение относительной дозиметрии

К относительной дозиметрии относятся следующие дозиметрические измерения: измерение параметров и характеристик радиационного поля в среде, процентные глубинные дозовые распределения, дозовые профили, измерения помогающие оценить поведение пучка в воде и распределение дозы. В клиниках относительная дозиметрия может быть выполнена как ионизационными камерами, так и твердотельными дозиметрами в водных и твердотельных тканезквивалентных фантомах.

Для проведения относительной дозиметрии необходимо:

- 1) Установить водный фантом в изоцентр установки, выровнять по спиртовому уровню и залить водой.

- 2) Подключить фантом к CCU Blue Phantom и включить ПО OmniPro Ассерт
- 3) Установить ионизационные камеры в соответствующие держатели водного фантома и подключить с CCU (“Field”, “Reference”) (рисунок 15).
- 4) Измерить давление воздуха и температуру окружающей среды. $P = 981,7$ гПа; $t = 23,7^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 15. Крепление ионизационной камеры

Для того, чтобы данные измерений были корректными необходимо провести нормализацию на d_{max} – это глубина, на которой максимальная доза. Для энергии 6 МэВ $d_{\text{max}} = (1,5 - 1,7)$ см, для 10 МэВ $d_{\text{max}} = (2,1 - 2,3)$ см. Система показала, что для энергии 6 МэВ $d_{\text{max}} = 1,58$ см, а для 10 МэВ $d_{\text{max}} = 2,25$ см.

После проведения нормализации требуется провести измерения глубинного распределения дозы по центральной оси пучка. Измерения проводились при энергиях фотонов 6 МэВ и 10 МэВ, РИП = 100 см, размер поля меняется от 2×2 до 40×40 см². Из данных измерений (рисунок 16) определяем точное значение для поля (10×10) см², d_{max} (6 МэВ) = 1,6 см. Для 10 МэВ $d_{\text{max}} = 2,2$ см.

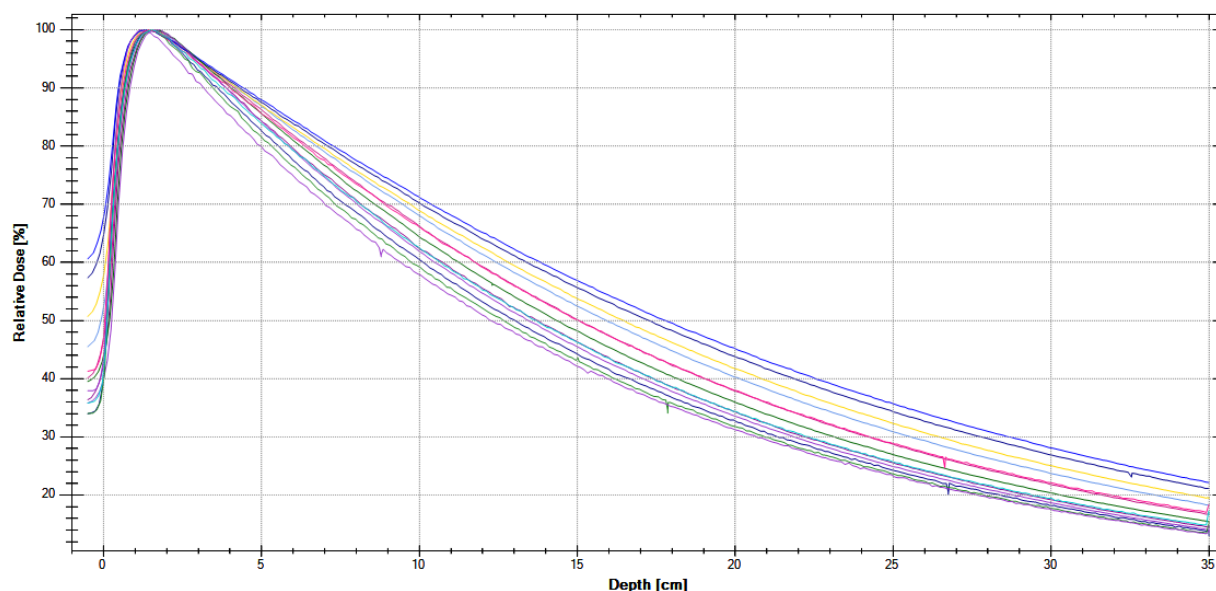


Рисунок 16. Глубинное распределение дозы в водном фантоме

Также в данном эксперименте измерялся поперечный профиль фотонного пучка на глубине d = глубина максимума (10, 20, 30) см для энергий 6, 10 МэВ (рисунок 17, 18).

Размер полей:

- $(5 \times 5) \text{ см}^2$;
- $(10 \times 10) \text{ см}^2$;
- $(15 \times 15) \text{ см}^2$;
- $(20 \times 20) \text{ см}^2$

РИП = 100 см; угол гантри 0 градусов.

Главными параметрами, измеряемыми в этом пункте, были симметричность и плоскостность. Плоскостность — одно из основных измерений для определения ровности поверхности.

Однородность дозового поля измеряется сканером вдоль главных осей пучка на различных глубинах в водном фантоме. Для количественной характеристики однородности используются два параметра: гладкость или однородность поля (иногда используется термин — «флатность поля») и симметричность поля.

Гладкость поля F может определяться через значения максимальной и минимальной дозы на профиле внутри 80 % ширины пучка по следующей формуле:

$$F = 100 \cdot \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}}. \quad (5)$$

Симметричность пучка B определяется на глубине $d_{\max}$ через площади по разные стороны от центральной оси (слева и права), значения дозы на которых составляют не меньше 50 % от дозы на центральной оси. Расчетная формула имеет вид:

$$B = 100 \cdot \frac{S_{\text{л}} - S_{\text{пр}}}{S_{\text{л}} + S_{\text{пр}}} \quad (6)$$

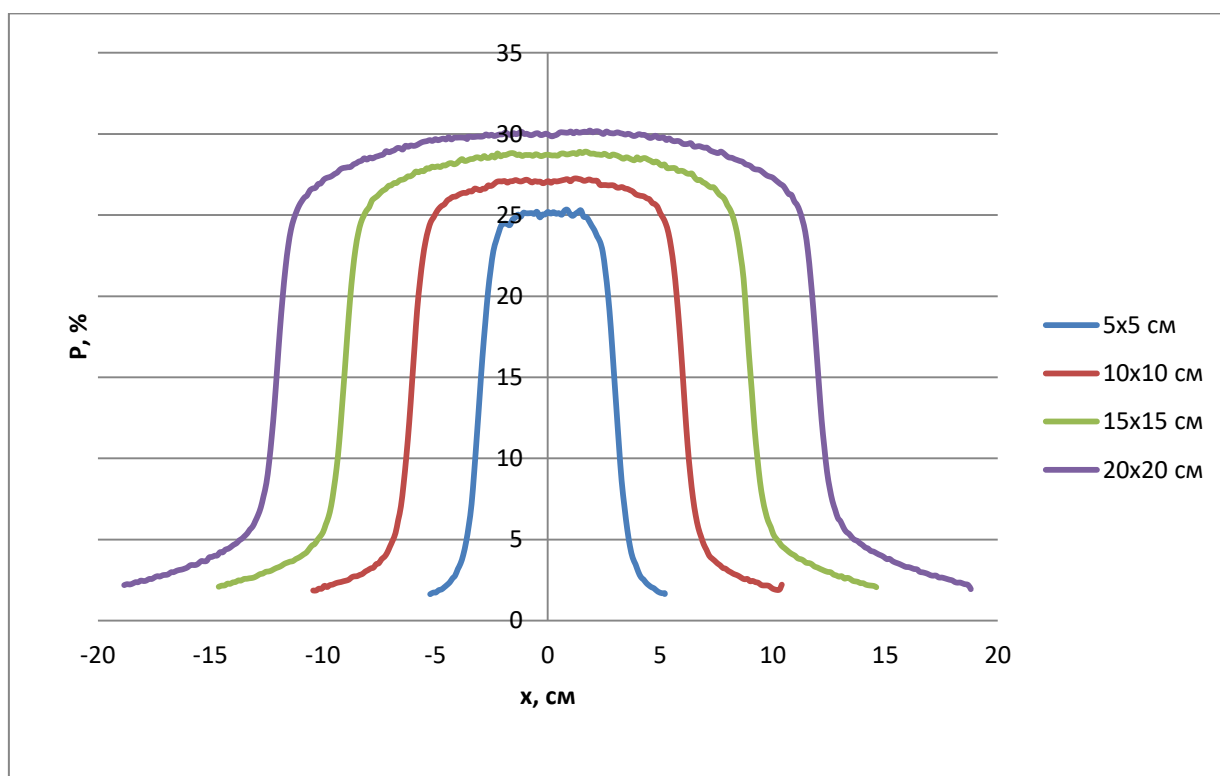


Рисунок 17. Дозовый профиль для пучка фотонов с энергией 6 МэВ

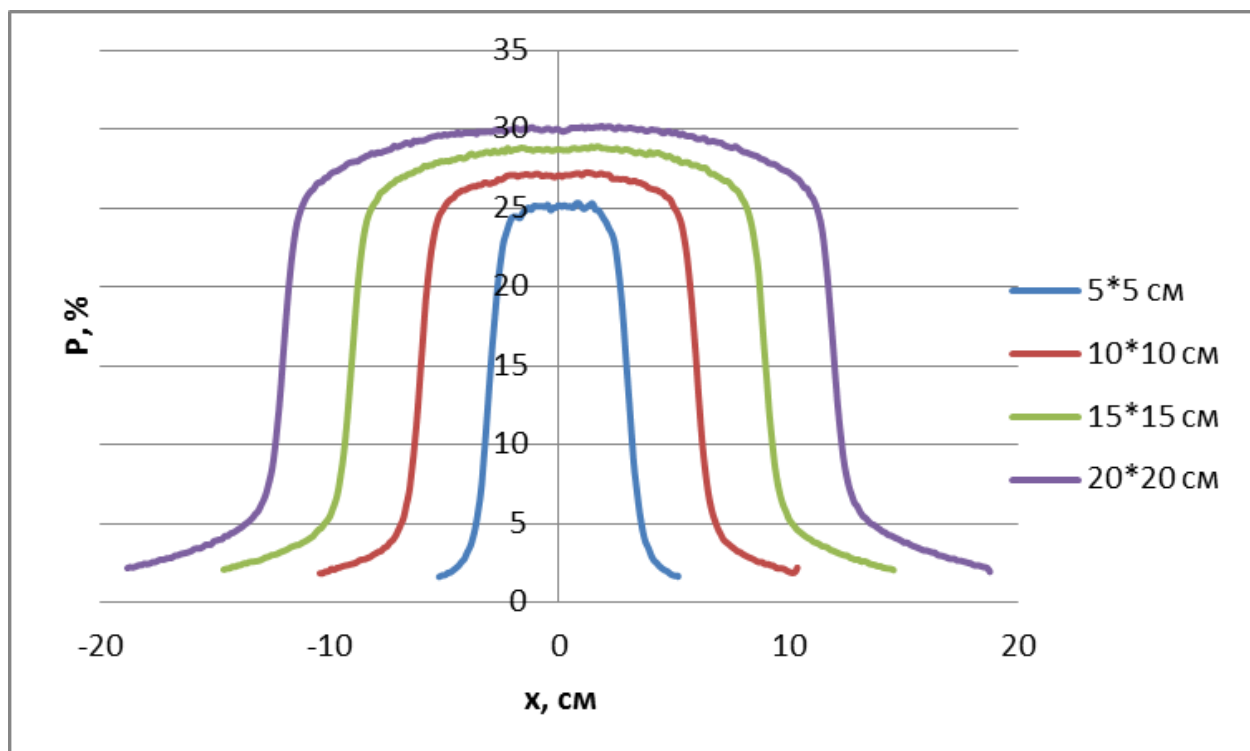


Рисунок 18. Дозовый профиль для пучка фотонов с энергией 10 МэВ

Таблица 1 - Рассчитанные показатели гладкости поля.

Размер поля	F, %		F, %	
	E = 6 МэВ		E=10 МэВ	
	Inline	Crossline	Inline	Crossline
5x5 см	2,63	1,3	1,5	2,25
10x10 см	1,62	1,02	1,03	0,65
15x15 см	0,32	0,6	1,7	0,8
20x20 см	1,55	0,76	0,98	1,86

Таблица 2 - Рассчитанные показатели симметричности поля.

Размер поля	B, %		B, %	
	E = 6 МэВ		E=10 МэВ	
	Inline	Crossline	Inline	Crossline
5x5 см	1,03	0,98	1,3	1,01
10x10 см	2,1	1,02	1,03	0,65
15x15 см	0,32	1,29	2,01	0,97
20x20 см	1,4	0,8	0,98	1,05

Данные измерения были использованы при создании модели пучка в системе планирования PLUNC.

3.2 Абсолютная дозиметрия

Для проведения абсолютной дозиметрии необходимо было:

1. Установить и включить электромметр Dose 1 и выбрать соответствующую модель ионизационной камеры. Прогреть не менее 20 минут.
2. Установить камеру в держатель датчика фантома.
3. Подключить камеру к электромметру Dose1.
4. Совместить центр камеры с границей раздела двух сред (вода-воздух).
5. Выставить камеру на глубину $d_{ref} = 10$ см.
6. Выставить значение MU = 100.
7. Провести облучение для всех располагаемых энергий не менее трех раз.

Мониторная единица – единица измерения мощности излучения для линейного ускорителя в радиотерапии. Данные измерения: РИП = 100 см, поле (10x10) см², $t_{воды} = 23,66$ °С.

Согласно международному дозиметрическому протоколу TRS-398 [11] определение поглощенной дозы в воде определяется следующим образом:

$$D_{w,Q} = M * N_{D,w}^Q \quad (7)$$

где M – скорректированное значение заряда (Кл);

$N_{D,w}^Q$ – калибровочный коэффициент для ионизационной камеры, учитывающийся в случае, если условия проведения измерений отличаются от условий, при которых проводилась калибровка данной камеры.

Скорректированное значение заряда, измеренного ионизационной камерой можно вычислить по следующей формуле:

$$M = M_{raw} * P_{TP} * P_{ion} * P_{pol} * P_{elec}, \quad (8)$$

где M_{raw} – нескорректированное значение заряда (Кл), измеренное ионизационной камерой в точке измерения;

P_{TP} – поправка на температуру и давление окружающей среды в момент измерения;

P_{ion} – поправка на неполную эффективность сбора ионов (поправка на рекомбинацию);

P_{pol} – поправка на эффект полярности напряжения на электродах камеры;

P_{elec} – калибровочный коэффициент электрометра.

Поправочные коэффициенты для нахождения величины M определяются:

1. P_{TP} – коэффициент, учитывающий разницу между стандартными условиями окружающей среды в поверочной лаборатории и условиями окружающей среды при проведении измерений.

$$P_{TP} = \frac{273,2+T}{273,2+22,0} * \frac{101,33}{P}, \quad (9)$$

где T – текущая температура, измеренная в градусах Цельсия в воде возле ионизационной камеры;

P – текущее атмосферное давление (кПа).

2. P_{ion} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние на показания камеры неполного сбора заряда из-за рекомбинации ионов. Формула для вычисления эффективности сбора ионов, имеет вид:

$$P_{ion} = \frac{1 - (V_H/V_L)^2}{\left(M_{raw}^H / M_{raw}^L \right) - (V_H/V_L)^2}, \quad (10)$$

где V_H – номинальное рабочее напряжение на детекторе;

M_{raw}^H – значение заряда, измеренного ионизационной камерой при рабочем напряжении V_H ;

V_L – напряжение, равное, как правило, половине номинального;

M_{raw}^L – значение заряда, измеренного при напряжении V_L .

3. P_{pol} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние на показания камеры изменения напряжения, приложенного к ее электродам. Определяется по следующей формуле:

$$P_{pol} = \left| \frac{M_{raw}^+ + M_{raw}^-}{2M_{raw}} \right| \quad (11)$$

где M_{raw}^+ – показания ионизационной камеры при напряжении положительной полярности;

M_{raw}^- – показания ионизационной камеры при напряжении отрицательной полярности;

M_{raw} – показания ионизационной камеры при напряжении основного режима работы (либо M_{raw}^+ , либо M_{raw}^-).

4. P_{elec} – поправочный коэффициент, который равен единице, если камера и электромметр калибровались совместно.

Калибровочный коэффициент $N_{D,w}^Q$, учитывающий отличие условий измерения от условий, при которых проводилась калибровка, может быть выражен как:

$$N_{D,w}^Q = k_Q * N_{D,w}^{Co^{60}} \quad (12)$$

где $N_{D,w}^{Co^{60}}$ (Гр/Кл) – калибровочный коэффициент в единицах поглощенной дозы в воде для опорного вида излучения (в данном случае гамма-излучение ^{60}Co), который указывается в паспорте камеры;

k_Q – коэффициент поправки на качество пучка.

Результаты измерений представлены в таблице 3.

Коэффициенты: $N_{D,w} = 0.04828$, $k_Q = 0.987$, $k_{t,p} = 1.045$

Таблица 3 - Результаты измерений выхода фотонного пучка

E = 6 МэВ			E = 10 МэВ		
q, нКл	q, нКл	D, Гр	q, нКл	q, нКл	D, Гр
13,49	13,5	1,001	14,71	14,7	1,0
13,51			14,69		
13,49			14,7		

Глава 4. Создание и верификация модели фотонного пучка ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC

Для создания модели пучка необходимо было провести следующие измерения, которые были описаны в протоколе Commissioning guide для системы планирования PLUNC :

- поперечный профиль фотонного пучка для размера полей от 2x2 до 40x40 см² на глубине $d_{\max}$ (10, 20 и 30 см) в поперечном направлении;
- поперечный профиль фотонного пучка для размера полей от 2x2 до 40x40 см² на глубине $d_{\max}$ (10, 20 и 30 см) в продольном направлении;
- глубинное распределение дозы на оси пучка (PDD).

Данные необходимо представить в трех соответствующих файлах в двоичном формате в порядке возрастания размеров полей.

Кроме того для моделирования клиньев (клиновидных фильтров) необходимо было провести измерения поперечных профилей и глубинных распределений дозы на оси фотонного пучка для ряда выбранных комбинаций полей и углов клина. В качестве примера были приведены измерения для размера полей 5x5, 10x10 и 20x20 см² и углов 15°, 30°, 45° или 60°. Данные необходимо было представить в двух соответствующих файлах в двоичном формате в порядке возрастания размеров полей.

Первый этап верификации модели фотонного пучка ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC включает в себя загрузку КТ – снимков с IMRT – фантомом.

Второй этап включает в себя процесс оконтуривания необходимой области облучения. Пример полученных изображений с выполненным оконтуриванием представлен на рисунке 19.

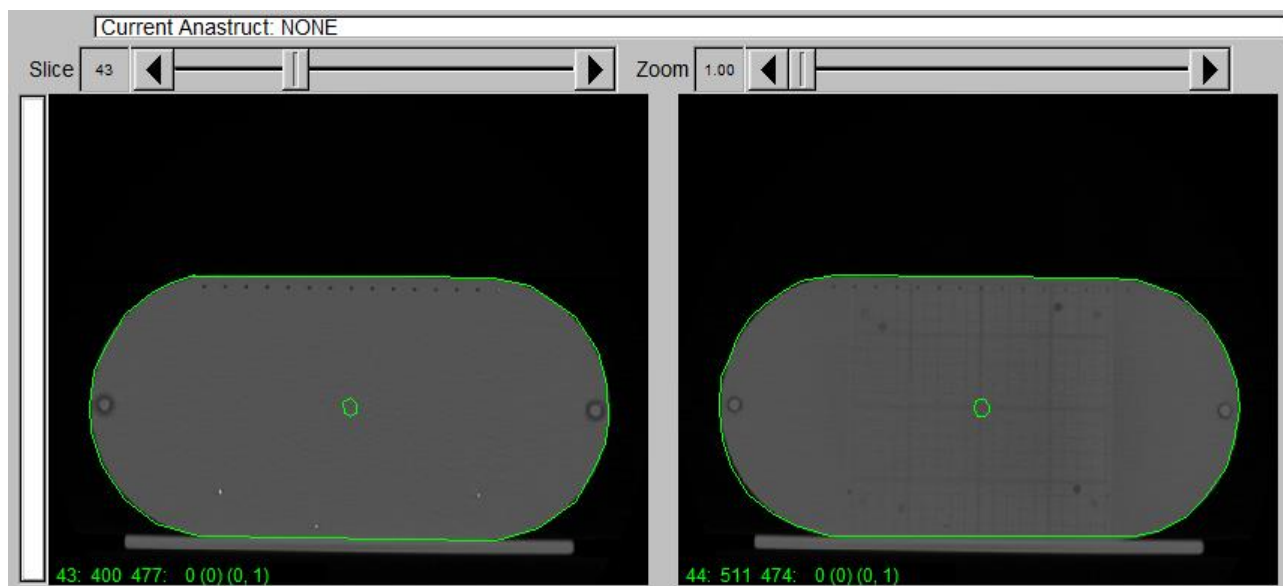


Рисунок 19 – Загруженные КТ – снимки с выполненным оконтуриванием

Третий этап включает в себя процесс расчета дозы, редактирования геометрии облучения и проведение эксперимента с аналогичной геометрией. Полученный результат и эксперимент представлены на рисунке 20.

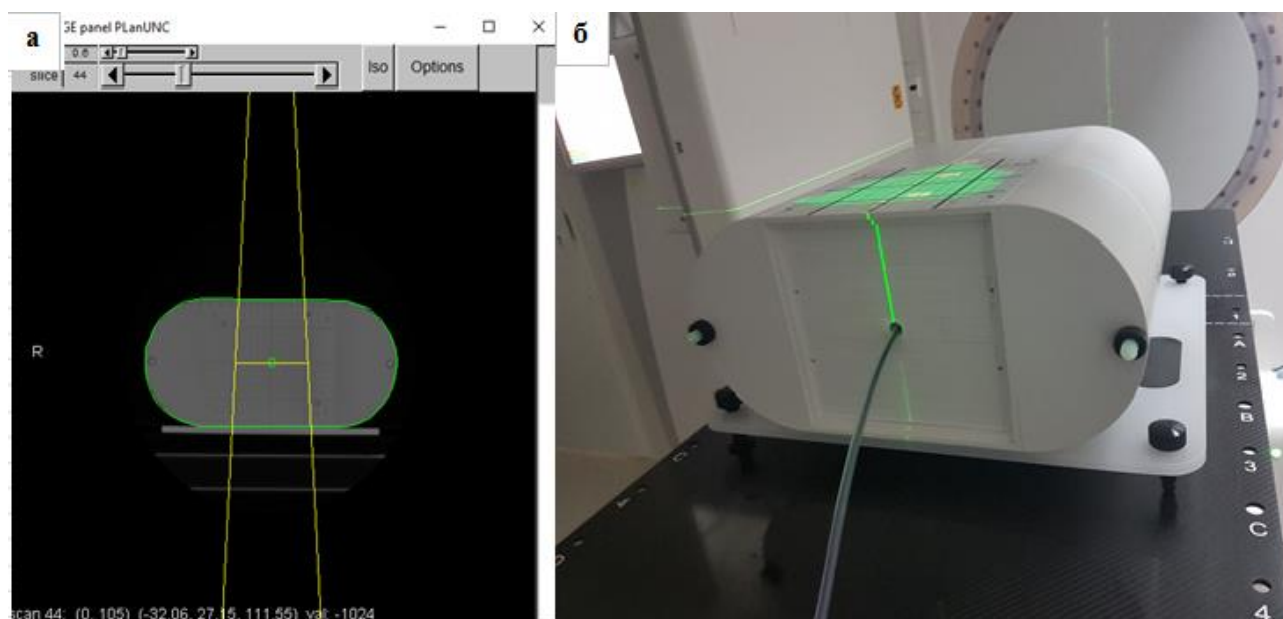


Рисунок 20 – Проведение верификации: а – моделирование в программе; б – эксперимент

Следующим этапом было сравнение значений рассчитанных в программе и измеренных в результате эксперимента. Рассчитанное в программе значение – 1 Гр. Измеренные значения представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Рассчитанные значения

E = 6 МэВ			E = 10 МэВ		
q, нКл	q, нКл	D, Гр	q, нКл	q, нКл	D, Гр
20,96	20,97	1	21,17	21,16	1,001
20,98			21,15		
20,97			21,16		

Расхождение рассчитанных и экспериментальных значений для E = 6 МэВ составляет величину – 0%, для 10 МэВ – 0,1 %. Что говорит о хорошей согласованности экспериментальных и рассчитанных данных.

Заключение

Таким образом, в результате выпускной квалификационной работы была проведена клиническая дозиметрия фотонных пучков линейного ускорителя Elekta Synergy в рамках международных дозиметрических протоколов по клинической дозиметрии TRS-398, TG-51 и рекомендаций, прилагаемых к системе PLUNC для создания модели пучка. Были проведены измерения профилей пучков и процентных глубинных дозовых распределений для энергий 6 и 10 МэВ при помощи современной дозиметрической системы для проведения клинической дозиметрии - анализатора дозного поля Blue Phantom и набора детекторов. Как следствие, была проведена работа по изучению международных дозиметрических протоколов и особенностей работы в системе PLUNC.

Также было разработано и внедрено в программу подготовки магистров по направлению «Ядерные физика и технологии» методическое пособие по планированию в системе PLUNC. Для этого были созданы планы лечения реального пациента с опухолью прямой кишки.

Вместе с тем была создана модель фотонного пучка ускорителя Elekta Synergy в системе планирования PLUNC и проведена его верификация по абсолютной дозе. Расхождение рассчитанных и экспериментальных значений для $E = 6$ МэВ составляет величину – 0%, для 10 МэВ – 0,1 %.

Проведенные расчет и измерения указывают на целесообразность и эффективность использования данной программы в образовательных целях, так как рассчитанные и экспериментальные значения показывают хорошую согласованность, а также работа систем не отличается от коммерческих систем планирования и оконтуривания. В дальнейшем планируется проведение верификации и сравнение полученных результатов с коммерческими системами дозиметрического планирования.

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Научно-исследовательские работы (НИР) – это работы научного характера, связанные с научным поиском, проведением исследований с целью получения научных обобщений, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции.

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не только масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки.

Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Целью данной главы является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации [11].

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;

- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В данной работе была поставлена цель по созданию модели фотонного пучка для терапевтического линейного ускорителя Elekta Synergy, который на данный момент эксплуатируется в Томском областном онкологическом диспансере. Для реализации поставленной цели была проведена клиническая дозиметрия фотонных пучков линейного ускорителя Elekta Synergy в рамках международных дозиметрических протоколов по клинической дозиметрии TRS-398, TG-51 и рекомендаций, прилагаемых к системе PLUNC для создания модели пучка.

Второй целью являлась разработка методического пособия по работе в данном программном продукте.

Сегментировать рынок услуг можно по следующим критериям: мониторинг, научно-исследовательская работа.

Таблица 5 - Карта сегментирования рынка услуг

		Организации	
		Медицинские учреждения	Исследовательские центры
Область применения	Облучение злокачественных опухолей		
	Научно-исследовательская работа		

Исследование может быть полезным при подготовке магистров по направлению «Ядерная медицина» в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (г.Томск).

Из карты сегментирования услуг видно, что целевым рынком данного исследования будут исследовательские центры. В качестве заинтересованных могут выступать организации, сфера деятельности которых затрагивает области медицинской физики и лучевой терапии пациентов с онкологическими заболеваниями.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 6. В качестве конкурирующих разработок были приняты: проведение моделирования с помощью станции планирования XIO и Pinnacle³ (Бк1 и Бк2 соответственно).

Оценка эффективности методов диагностики электронного пучка проводилась по двум группам критериев: технические и экономические. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы (max 5)			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Оптимизация планирования	0,22	3	2	3	0,66	0,44	0,66
2. Качество интеллектуального интерфейса	0,2	4	5	2	0,8	1	0,4
3. Надежность	0,2	4	3	4	0,8	0,6	0,8
4. Потребность в ресурсах памяти	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
5. Простота эксплуатации	0,01	3	1	2	0,03	0,01	0,02
6. Удобство в эксплуатации	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
2. Уровень проникновения на рынок	0,02	1	2	5	0,02	0,04	0,1
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1				3,91	3,34	3,68

Из данного анализа видно, что планирование лучевой терапии при помощи системы планирования Plunc имеет преимущество перед конкурентными разработками за счет простоты, удобства эксплуатации при этом сохраняя высокую функциональную мощность. Так же данная программа находится в свободном доступе. Однако заметной проблемой является слабое проникновение на рынок.

5.3 SWOT - анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

SWOT-анализ данного научно-исследовательского проекта представлен в таблице 7.

Таблица 7 — SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1: Доступность, простота и удобство эксплуатации с учетом сохранения высокой функциональной мощности; С2:Наличие широкого спектра инструментов, библиотек, и скриптов	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1: необходимость создания модели терапевтических пучков для определенных моделей ускорителей
Возможности: В1: Оптимизация программы подготовки магистров по направлению «Ядерная медицина» в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (г.Томск)	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей "Сильные стороны и возможности": – Возможность проведения планирования лучевой терапии дистанционно от медицинского исследовательского центра – Разработка методического пособия и модели фотонного пучка для ускорителя Elekta Synergy позволит усовершенствовать процесс подготовки специалистов в области лучевой терапии	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей "Слабые стороны и возможности": – Создание моделей пучков, рассчитанных на как можно широкий спектр оборудования – Увеличить вычислительные мощности для обработки большего количества данных
Угрозы: У1: Отсутствие финансирования со стороны государства и частных компаний У2: Угроза поломки линейного ускорителя Elekta Synergy; У3: Угроза поломки ЭВМ	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей "Сильные стороны и угрозы": – Публикация полученных данных в научном сообществе – Стратегия уменьшения угроз вследствие доступности программного продукта (установка и работа на другой ЭВМ) – Разработка	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей "Слабые стороны и угрозы": – Получение грантов на исследования – Разработка модели фотонного пучка на другой медицинский прибор – Повышение квалификации специалистов

	моделей терапевтических пучков на широкий спектр оборудования	
--	--	--

5.4 Планирование научно-исследовательской работы

Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки разбиваются на этапы в соответствии с ГОСТ 15.101-98, (для НИР) ГОСТ Р 15.201-2000 (для ОКР). В зависимости от характера и сложности НИОКР ГОСТ допускает разделение этапов на отдельные виды работ.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться от 3 до 15 человек. В рамках данной работы была сформирована рабочая группа, в состав которой вошли:

- руководитель;
- студент.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении ВКР приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Работ	Содержание работы	Исполнитель
Разработка технического задания на НИР	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследования	Руководитель
	4	Разработка общей методики проведения исследований	Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические исследования	6	Изучение документации, поиск литературы	Студент
	7	Поиск статей в журналах по выбранной тематике	Студент
Проведение расчетов	8	Получение необходимых данных	Студент
	9	Создание модели фотонного пучка	Студент
	10	Анализ и описание результатов	Студент
Оформление отчета по НИР	11	Проверка полученных результатов	Руководитель
	12	Составление пояснительной записки	Студент

5.5 Определение трудоемкости выполнения НИОКР

Следующим этапом является определение трудоемкости выполнения НИОКР. Трудоемкость выполнения НИОКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости работ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (13)$$

где $t_{ож\ i}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, (чел.-дн.); $t_{min\ i}$ - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), (чел.-дн.); $t_{max\ i}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), (чел.-дн.). Вычисление трудоемкости проводится следующим образом с использованием вышеприведенной формулы:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1.8. \quad (14)$$

Дальнейшие расчеты трудоемкости проводятся подобным образом с использованием данных из таблицы 13.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (15)$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.); $t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, (чел.-дн.); $Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, (чел.). В ходе данной работы количество человек, выполнявших каждую из работ на каждом из этапов, равняется одному.

Вычисление продолжительности каждой работы проводится следующим образом с использованием вышеприведенной формулы:

$$T_{pi} = \frac{1,8}{1}. \quad (16)$$

Дальнейшие расчеты продолжительности каждой работы проводятся подобным образом с использованием данных из таблицы 5.

5.6 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (17)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения одной работы, (кален. дн.); T_{pi} - продолжительность одной работы, (раб. дн.); k - коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Расчёт коэффициента календарности производится по следующей формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кг}}}{T_{\text{кг}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} = 1,22, \quad (18)$$

где, $T_{\text{кг}}$ - количество календарных дней в году ($T_{\text{кг}} = 365$ дн.); $T_{\text{вд}}$ - количество выходных дней в году ($T_{\text{вд}} = 52$); $T_{\text{пд}}$ - количество праздничных дней в году, ($T_{\text{пд}} = 14$). Расчетную величину продолжительности работ T_{ki} была округлена до целых чисел. Вычисление длительности этапов в календарных днях проводится следующим образом с использованием вышеприведенной формулы:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (19)$$

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнитель	t min	t max	t ож	Ч i	T раб.дн.	T кал.дн.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	3	1,8	1	1,8	2
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	8	12	9,6	1	9,6	12
3	Выбор направления исследований	Руководитель	1	3	1,8	1	1,8	2
4	Разработка общей методики проведения исследований	Руководитель	3	6	4,2	1	4,2	5
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1	3	1,8	1	1,8	2
6	Изучение документации, поиск литературы	Студент	5	6	5,4	1	5,4	7
8	Получение необходимых данных	Студент	10	14	11,6	1	11,6	14
9	Создание модели фотонного пучка	Студент	9	12	10,2	1	10,2	12
10	Анализ и описание результатов	Студент	6	9	7,2	1	7,2	9

№ работ	Вид работ	Исполнитель	t min	t max	t ож	Ч i	T раб.дн.	T кал.дн.
11	Проверка полученных результатов	Руководитель	2	3	2,4	1	2,4	3
12	Составление пояснительной записки	Студент	1	2	1,4	1	1,4	2
Итого:			47	73	57,4	1	12/45,4	14/56

5.7 Календарный план-график в виде диаграммы Ганта

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Ганта. График построен с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график выполнения данной дипломной работы в виде диаграммы Ганта представлен ниже в таблице 10.

Таблица 10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнитель	T кал.дн.	Апрель			Май		Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1
1	Составление и утверждение технического задания	Р	2	■						
2	Подбор и изучение материалов по теме	С	12	■	■					
3	Выбор направления исследований	Р	2		■					
4	Разработка общей методики проведения исследований	Р	5		■	■				
5	Календарное планирование работ по теме	Р	2			■				
6	Изучение документации, поиск литературы	С	7			■	■			
8	Получение необходимых данных	С	14				■	■	■	

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – НИ ТПУ.

Стоимость ноутбука составляет:

$$C = 20000,00 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления за период выполнения дипломной работы составили:

$$A = \frac{45,4 \cdot 20000,00}{1825} = 497,5 \text{ руб.} \quad (8)$$

где 1825 – срок службы ноутбука, дней (5 лет).

Таблица 11 — Амортизационные отчисления

Наименование	Единица измерения	Количество, дней	Цена за ед., руб.	Затраты на амортизацию, руб.
Вычислительная техника - ноутбук	1 шт.	45	20000,00	497,5
Итого:				497,5

5.10 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (20)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, студента) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (21)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (22)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5 -дневная неделя; при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12)

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	52
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	48
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный оклад работника с учетом районного коэффициента для Томска $k_p = 1,3$, вычисляется:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot 1,3. \quad (23)$$

Данные и результаты расчета основной заработной платы приведены в таблице 16. Например, для руководителя расчет основной заработной платы, зная, что его оклад 33775,83 руб/месяц, проводится следующим образом:

- находим месячный должностной оклад:

$$З_{\text{м}} = 33775,83 \cdot 1,3 = 43908,58 \text{ руб./месяц}; \quad (24)$$

- рассчитываем среднедневную заработную плату:

$$З_{\text{дн}} = \frac{43908,58 \cdot 10,4}{251} = 1819,32 \text{ руб./день}; \quad (25)$$

- рассчитываем основную заработную плату:

$$З_{\text{осн}} = 1819,32 \cdot 12 = 21831,84 \text{ руб.} \quad (26)$$

Подобный расчет проводится для вычисления основной заработной платы студента.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$, руб.	k_p	$З_{\text{м}}$, руб./месяц	$З_{\text{дн}}$, руб./день	T_p , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33775,83	1,3	43908,58	1819,32	12	21831,84
Студент	9893	1,3	4100,00	169,88	45	7644,6
Итого $З_{\text{осн}}$						29476,44

5.11 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (27)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}}, \quad (28)$$

где $k_{\text{пф}}$ - коэф. отчисления в пенсионный фонд; $k_{\text{с}}$ - коэф. отчисления страховых взносов; $k_{\text{пн}}$ - коэф. отчисления в подоходный налог.

$$k_{\text{внеб}} = 0,271. \quad (29)$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot 21831,84 = 5916,43 \text{ руб.} \quad (30)$$

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Наименование	Руководитель
Основная заработная плата руководителя, руб.	21831,84
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Сумма отчислений руководителя	5916,43
Сумма отчислений студента	2071,69
Итого:	7988,12

5.12 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. Затраты на электроэнергию рассчитываются по следующей формуле:

$$C = Ц_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 270 = 783 \text{ руб.} \quad (31)$$

где $Ц_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 783 рублей.

Таблица 15 – Отчисления на электроэнергию

Наименование	Единица измерения	Количество, дней	Цена за ед., руб.	Затраты на электроэнергию, (З _м), руб.
Электричество	кВт·ч	45	5,8	783
Итого:				783

5.13 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Затраты на амортизацию оборудования и эл./энергию НТИ	497,5
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	33775,83
3. Отчисления во внебюджетные фонды	5916,43
4. Затраты на научные и производственные командировки	-
5. Контрагентные расходы	-
6. Накладные расходы	783
Бюджет затрат НТИ	40972,76

5.14 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (32)$$

где $I_{\text{финр.}}^{\text{исп. } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп. } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (33)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (34)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Под исп.1. – подразумевается стоимость моделирования в системе планирования Рlupс, под исп.1. – моделирование в программном продукте ХЮ, его стоимость составляет – 95200 руб.

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{40972,76}{40972,76 + 95200} = 0,3$$

$$I_{\text{финр.}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{95200}{40972,76 + 95200} = 0,7$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 14).

Таблица 17 – Оценка характеристик исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	K _ф	K ₁
1. Оптимизация планирования	0,25	4	4
2. Качество интеллектуального интерфейса	0,15	4	5
3. Надежность	0,15	5	3
4. Потребность в ресурсах памяти	0,20	5	3
5. Простота эксплуатации	0,15	2	2
6. Удобство в эксплуатации	0,05	5	2
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,05	5	5
ИТОГО	1,00	4,15	3,45

$$I_{p1} = 4,15$$

$$I_{p2} = 3,45$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.} \quad (35)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл. 14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (36)$$

Таблица 18 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	K _ф	K ₁
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,3	0,7

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,15	3,45
3	Интегральный показатель эффективности	13,83	4,93

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{13,83}{4,93} = 2,81$$

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Как можно увидеть, именно таким вариантом и является моделирование в системе планирования PLUNC.

Глава 6. Социальная ответственность

В современных условиях труда для снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости важным является внедрение системы целенаправленных действий по защите и охране труда на всех стадиях производственного процесса.

В связи с различными чрезвычайными ситуациями, происходящими на предприятии, очень важным фактором является обеспечение безопасности рабочих мест на предприятии, и предотвращение возможных опасных ситуаций. Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Одновременно должно осуществляться последовательное повышение качества и эффективности всех средств коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных производственных факторов, увеличение объема их производства до полного удовлетворения потребностей народного хозяйства и рациональное их использование.

6.1 Характеристика условий труда

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов [12], которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В выпускной квалификационной работе была поставлена цель по созданию модели фотонного пучка для терапевтического линейного ускорителя Elekta Synergy, который на данный момент эксплуатируется в Томском областном онкологическом диспансере, как следствие, данная работа связана с математическим моделированием и расчетами. Следовательно, рабочим местом следует считать рабочий стол с персональным компьютером.

При выполнении данной работы, основными воздействующими

факторами являются:

- физические:
- температура и влажность воздуха;
- шум;
- статическое электричество;
- электромагнитное поле низкой чистоты;
- освещённость;
- наличие излучения;
- психофизиологические.
- электромагнитное поле и ионизирующее излучение от компьютера.

В таблице 19 приведены основные вредные и опасные факторы производственного процесса.

Таблица 19 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные Документы
	Вредные	Опасные	
Работа с ПЭВМ	Повышенный уровень воздействия электромагнитного излучения		СанПиН 2.2.2.542-96
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
		Пожаровзрывоопасность	ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ; ПБ 10-115-96; ГОСТ 12.2.085-82

6.2 Требования к ПЭВМ и организация работы

6.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

6.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости представлены на рисунке 21.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); в зоне в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно.

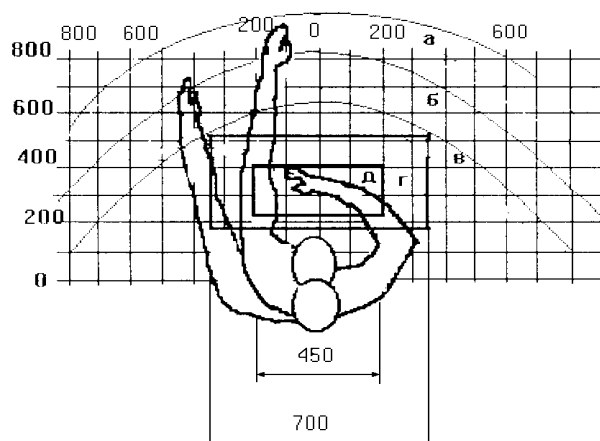


Рисунок 21 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680–800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол

обзора будет составлять 30 D. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100–300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 D. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

6.3 Анализ выявленных вредных факторов

6.3.1 Микроклимат

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения

характеристик микроклимата приведены в таблице 19.

Таблица 19. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

Параметры микроклимата в используемом помещении регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20–25 °С, зимой –13–15 °С. Осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок

при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

При работе механических и электромеханических изделий часто возникают шумы и вибрации. Шумы и вибрации, возникающие при работе вакуумной установки, связаны с вращением движущихся частей форвакуумного насоса.

В соответствии с [2] допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, составляет 75 дБ. Следовательно, средства и методы защиты от шума должны обеспечивать уровень шума на рабочем месте не выше 75 дБ. Зоны с уровнем звука 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности согласно [2, 3].

Снижение шума, воздействующего на человека на рабочих местах до значений, не превышающих допустимые, достигается применением средств и методов коллективной защиты, применением средств индивидуальной защиты. Работающих в шумоопасных зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противοшумовые каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 25 нТл.

Конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной

дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Дисплей ЭВМ является источником электромагнитного излучения. Также управление установкой характеризуется монотонностью работы и умственным перенапряжением. Нервно-психические перегрузки приводят к переутомляемости, снижению внимания и могут привести к ухудшению здоровья человека. При регулярной непрерывной работе с компьютером могут возникать заболевания органов зрения, сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

6.3.2 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Безопасной для человека является величина переменного тока — 10 мА, постоянного — 50 мА, безопасное напряжение 12 В.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с

ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Характер и последствия поражения зависят от величины, частоты и пути прохождения тока; продолжительности воздействия.

При работе на ПЭВМ существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сблокированы с устройствами,

отключающими рабочее напряжение при снятии; – изолирующие устройства и покрытия;

- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

Для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала необходимо предусмотреть:

- защитное заземление всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$;
- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и свыше 1000 В
- ограждение электронного источника, исключающее возможность прикосновения к токоведущим частям;
- полное ограждение от прикосновения к аппаратуре с напряжением выше 1000 В;
- отключение всех источников питания установки общим рубильником.

При поражении работника электрическим током необходимо:

1. освободить пострадавшего от действия электрического тока и оценить состояние пострадавшего;
2. вызвать скорую медицинскую помощь или врача, либо принять меры для транспортировки пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение;
3. если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока или продолжительное время находился под действием тока, ему до прибытия врача необходимо обеспечить полный покой и в дальнейшем медицинское наблюдение в течение 2–3 часов;
4. если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимся дыханием, его следует ровно и удобно положить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой, дать понюхать нашатырный спирт. Если пострадавший

плохо дышит, необходимо сделать искусственное дыхание и непрямой массаж сердца;

5. при отсутствии признаков жизни (отсутствие дыхания, пульса, реакции зрачка на свет) нельзя считать пострадавшего мертвым. Ему должна быть оказана первая медицинская помощь в виде искусственного дыхания и непрямой массаж сердца. Искусственное дыхание и непрямой массаж сердца следует делать непрерывно до прибытия врача;
6. переносить пострадавшего в другое место следует только в тех случаях, когда ему или лицу, оказывающему помощь, продолжает угрожать опасность или когда оказание помощи на месте невозможно.

6.3.3 Шум и вибрация

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ [13].

Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами. Уровень вибрации в помещениях вычислительных центров может быть снижен путем установки оборудования на специальные виброизоляторы.

6.3.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [5], по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1–В4, Г и Д, а здания – на категории А, Б, В, Г и Д. Категории помещений и зданий определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и

пожароопасных свойств, а также, исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов. Помещение, в котором выполняется данная работа, по степени пожаровзрывоопасности относится к категории Г (умеренная пожароопасность), т.е. включает в себя негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения

возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

6.3.5 Освещение

Плохое освещение повышает количество ошибок в работе, значительно снижает производительность труда, повышает утомляемость, вызывает заболевание органов зрения.

Основным способом защиты от недостаточного освещения является соблюдение норм освещенности, установленных по СНиП 23–05–95 [6]. В помещении с третьим разрядом зрительных работ с высокой точностью освещенность должна составлять 200 лк, а коэффициент пульсации 15%. Пульсации освещенности обусловлены малой инерционностью излучения газоразрядных ламп, световой поток от которых пульсирует при переменном токе промышленной частоты.

Организация рабочего места может защитить от недостаточного освещения. Освещенность рабочего места должна быть равномерной. Рабочий стол должен располагаться в хорошо освещенном месте, желательно у окна. Человек за столом должен располагаться лицом или левым боком к окну (правша). Светильники искусственного света должны располагаться относительно тела человека аналогичным образом.

6.3.6 Ионизирующее излучение

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [6] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным

направлением света.

6. 4 Анализ выявленных опасных факторов

6.4.1 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает тепловое, химическое и биологическое воздействие.

Тепловое (термическое) действие проявляется в виде ожогов участка кожи, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон.

Химическое (электролитическое) действие ведет к электролизу крови и других содержащихся в организме человека растворов, что приводит к изменению их физико-химических составов, а значит, и к нарушению нормального функционирования организма.

Биологическое действие проявляется в опасном возбуждении живых клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от:

1. Параметров электрического тока, протекающего через тело человека (величины напряжения, частоты, рода тока приложенного к телу);
2. Пути тока через тело человека (рука-рука, рука-нога, нога-нога, шея-ноги и др.);
3. Продолжительности воздействия тока через тело человека;
4. Условий внешней среды (влажности и температуры);
5. Состояния организма человека (толщины и влажности кожного покрова, состояния здоровья и возраста);

Электрозащитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся [6]:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть сблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;

- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

Приложение А.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Е. С. Сухих
И. Ж. Хасенова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО

ПЛАНИРОВАНИЕ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ
НА ОПУХОЛЬ ПРЯМОЙ КИШКИ

Томск – 2017

Оглавление

Введение.....	80
Теоретическая часть.....	80
Ход работы.....	82
I часть. Основы этапы создания плана лечения в PlanUNC	82
1.Создание каталога пациента	82
2. Создание входного файла изображения (Input image file):	82
3. Запуск PLUNC.	87
3.Оконтуривание кожи пациента.....	88
4.Оконтуривание органа риска пациента.....	94
5. Оконтуривание мочевого пузыря (Bladder).....	94
6.Оконтуривание матки и шейки матки (Uterus).....	94
7.Редактирование окна Вид из пучка (BEV window).....	95
8.Добавление пучков.....	98
9.1. «Коробка» - 4 поля	99
10. Редактирование дозы	102
9.2. «Многолепестковое» поле.....	104
9.3. 5 полей без клиньев.....	105
9.4. 5 полей с клиньями	105
9.5. «Коробка» - 4 поля.....	106
II часть. Основы IMRT – планирования.....	107
1.Выбор целей оптимизации	107
2.Оптимизация.....	112
Список используемых источников.....	115

ПЛАНИРОВАНИЕ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА ОПУХОЛЬ ПРЯМОЙ КИШКИ

Цель работы: ознакомившись с программным обеспечением *PLanUNC*, необходимо:

- провести оконтуривание пациента (кожа, органы риска, опухоль)
- создать дизайн планов лечения
- выбрать оптимальный план лечения (на основе гистограмм *DVH*)

Введение

Теоретическая часть

Первостепенной задачей лучевой терапии на протяжении всего периода ее применения является соблюдение основного радиотерапевтического принципа: максимальное повреждающее действие на опухоль и уменьшение лучевой нагрузки на окружающие здоровые ткани.

В процессе диагностики и подготовки к лучевому лечению большое значение имеет максимально точное определение распространенности опухолевого процесса: локализации, размеров и конфигурации опухолевых очагов, являющихся мишенью радиотерапевтического воздействия, а также оценка состояния находящихся рядом критических органов. При этом обязательно использование максимально возможной информации, получаемой при применении современных диагностических (рентгенологических, ультразвуковых, радиоизотопных) методов исследования.

Расчет планов облучения осуществляется с использованием специальных программ. Одной из таких является программа PLUNC.

PLanUNC это программное обеспечение, позволяющее создавать планы лучевой терапии для своих пациентов. Оно состоит из набора программ, библиотек, и скриптов, обеспечивающих набор возможностей лучевой терапии планирования, которые включают, но не ограничиваются:

- оконтуриванием анатомического строения
- записью/регистрацией изображений
- расчетом дозы используемой при лучевой терапии
- анализом и отображением гистограмм изодозового распределения
- сравнением и созданием единого плана лечения
- расчетами для оптимизации дозы в IMRT (Intensity-Modulated RadioTherapy)
- разработкой планов лечения для терапевтических машин

Планирование лучевой терапии в PLUNC включает в себя следующие этапы:

- Оконтуривание пациента (кожа, органы риска, опухоль)
- Создание дизайна плана лечения (отображение изображений и контуров)
- Добавление пучков
- Расчет дозы

Данное методическое пособие позволит ознакомиться с программным обеспечением PLUNC, а также научиться проводить оконтуривание пациента, создавать дизайны планов лечения, выбрать оптимальный план (на основе гистограмм *DVH*).

Ход работы

I часть. Основы этапы создания плана лечения в PlanUNC

1. Создание каталога пациента

Перед началом работы с *PLanUNC* необходимо создать директорию, в которой, непосредственно и будет производиться сохранение планов лечения пациента.

Для создания каталога пациента проделайте следующие шаги:

1. Укажите папку, в которой и будет производиться сохранение, для этого необходимо пошагово указать путь к ней, при помощи команды:

```
cd patients_directory
```

где *patients_directory* - название папки.

2. Создайте индивидуальный каталог пациента, для которого производится планирование лечения, выполнив команду:

```
mkdir PatientName
```

где *PatientName* – текст, при помощи которого будет идентифицироваться пациент.

Примечание: для перехода на диск D выполните команду:

D:

Пример создания папки пациента:

```
Setting environment for using Microsoft Visual Studio 2010 x86 tools.  
C:\Clinic\PLUNC\MASTER>D:  
D:\>cd Plunc  
D:\Plunc>cd rectum_CT  
D:\Plunc\rectum_CT>mkdir patient1
```

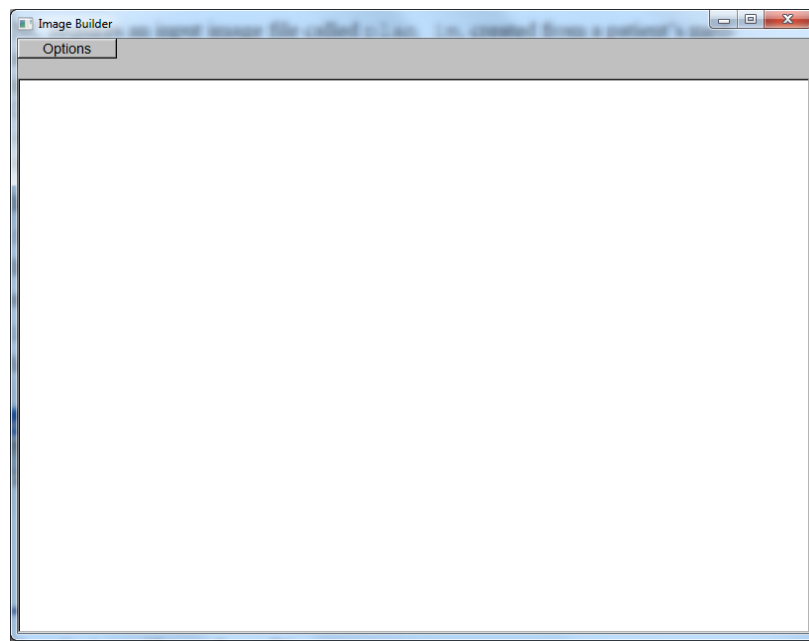
2. Создание входного файла изображения (Input image file):

Созданному из медицинских снимков пациента, входному файлу изображения, PLUNC присваивает имя *plan_im*. При помощи утилиты *Image Builder* вы можете создать файл *plan_im* из различных изображений формата *DICOM*. Для создания файла *plan_im* выполните следующие шаги:

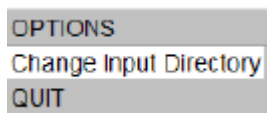
1. Перейдите в папку необходимого пациента при помощи ранее упомянутой команды
`cd PatientName`
где *PatientName* – название папки, созданной для пациента. Убедитесь в том, чтобы в указанной папке имелись изображения формата *DICOM*.

2. Запустите *Image Builder* при помощи команды:
`dicom`

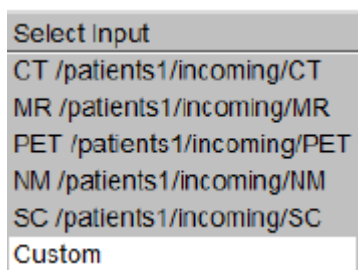
Image Builder выглядит следующим образом:



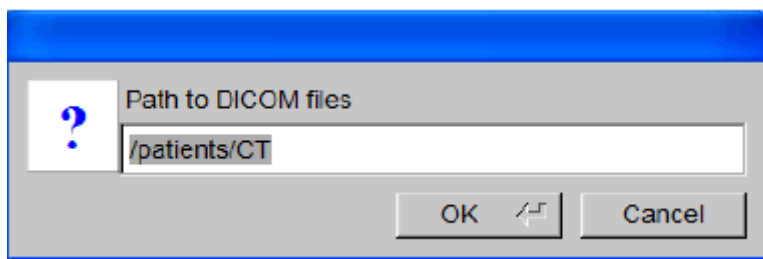
3. Выберите команду *Options>Change Input Directory*



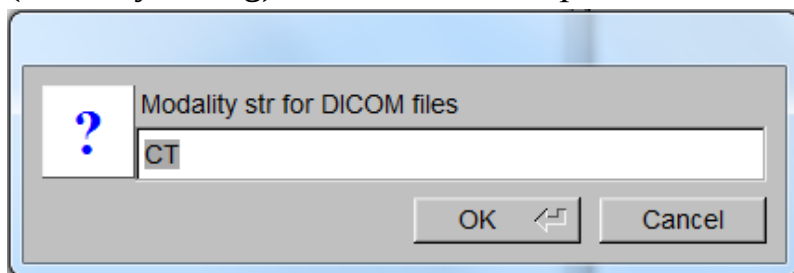
4. *DICOM* отобразит меню настроек (*Select Input menu*)



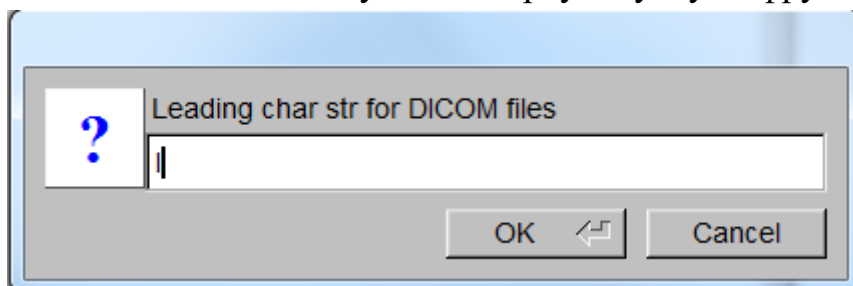
5. Выберите опцию *Custom*. *Image Builder* предлагает подтвердить путь к необходимому файлу. Нажмите *Ok*, если он указан верно.



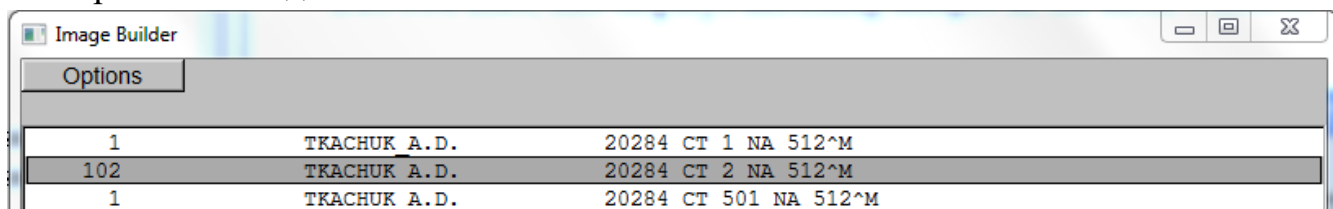
6. Нажмите *Ok* для принятия исходных настроек модальности (СТ). (modality setting). Возможные настройки: MR, PET, NM, SC.



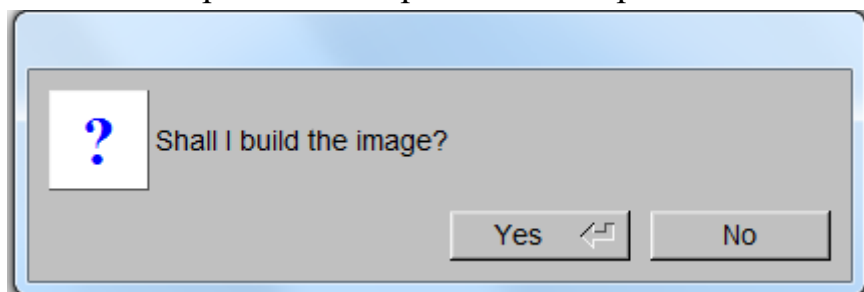
7. Необходимо указать первую букву/цифру имени файлов *DICOM*.



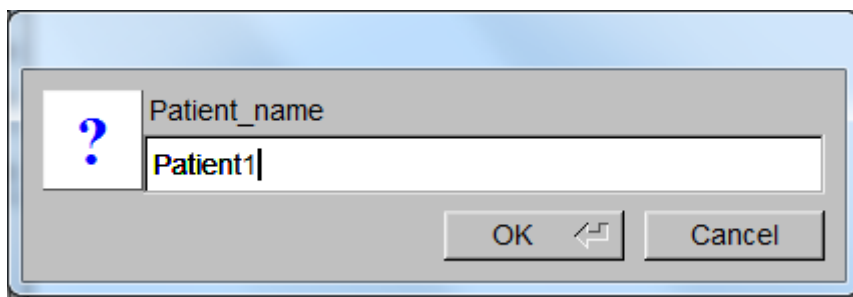
8. *Image Builder* выведет на экран существующие изображения. Выберите необходимое.



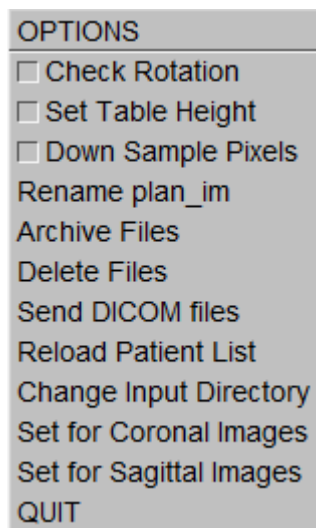
9. Разрешите отображение изображения в PLUNC.



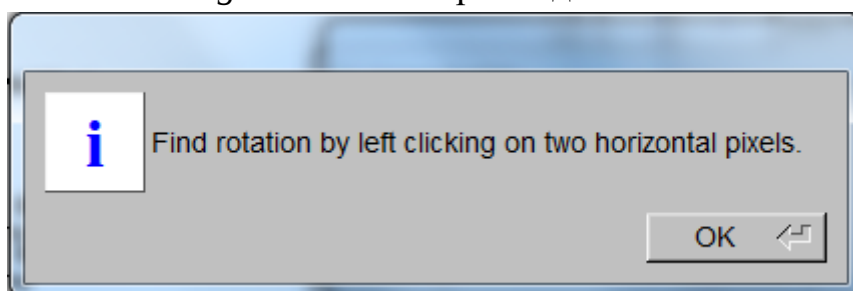
10. Введите имя пациента. Кликните *Ok*.



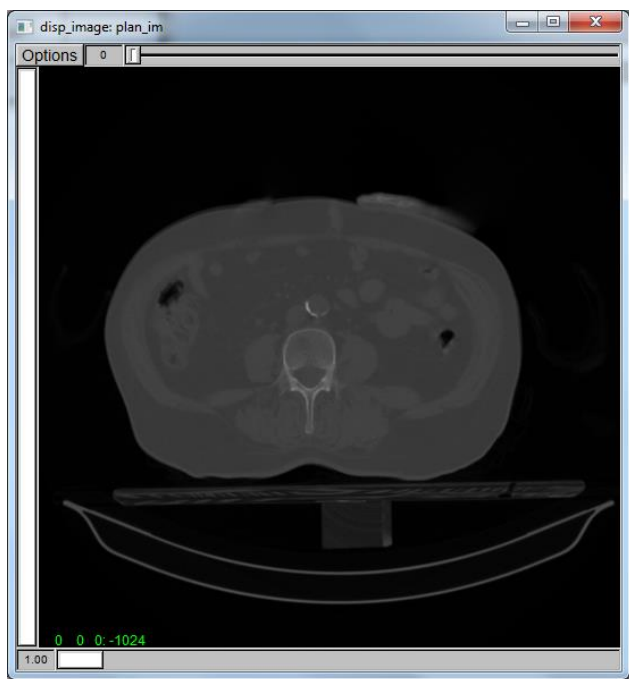
11. В главном окне *Image Builder* выберите опцию *Check Rotation*.



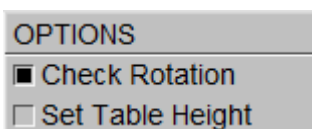
12. *Image Builder* отобразит диалоговое окно *Find Rotation*.



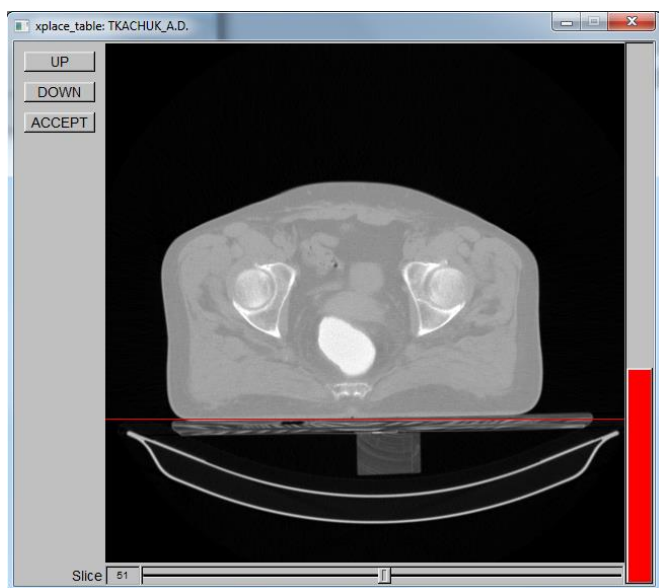
13. Нажмите *Ok*. *Image Builder* отобразит слои текущего изображения в окне *disp_image*. При помощи горизонтальной панели вы можете просмотреть срезы снимков пациента, а также изменить положение тела пациента.



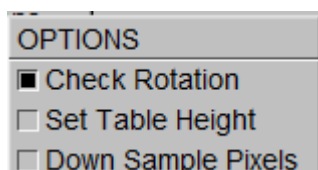
14. В главном окне *Image Builder* выберите опцию *Set Table Height*.



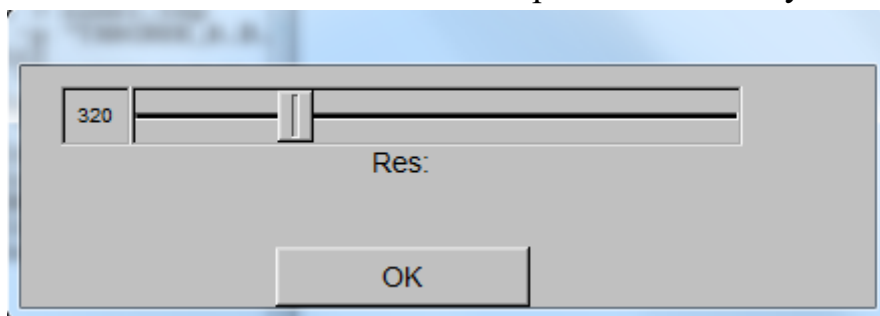
15. Нажмите *Ok*. *Image Builder* отобразит слои текущего изображения в окне *xplace_table*. При помощи вертикальной панели и «бегунка» на нем вы сможете скорректировать контрастность и яркость изображения. Нажмите *ACCEPT* при завершении настроек.



16. (Необязательно). Также PLUNC позволяет изменять размер и разрешение изображений. Для этого необходимо в главном окне *Image Builder* выбрать опцию *Down Sample Pixels*.



17. В появившемся окне выбрать необходимую пикселизацию.



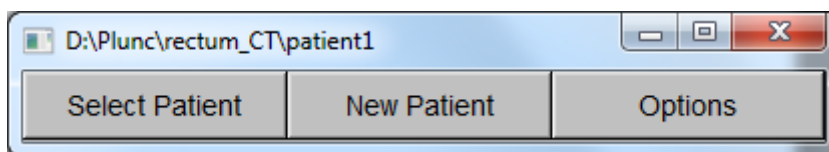
18. Выберите Options>Quit. Файл *plan_im* готов к созданию плана лечения в *PLUNC*.

3. Запуск PLUNC.

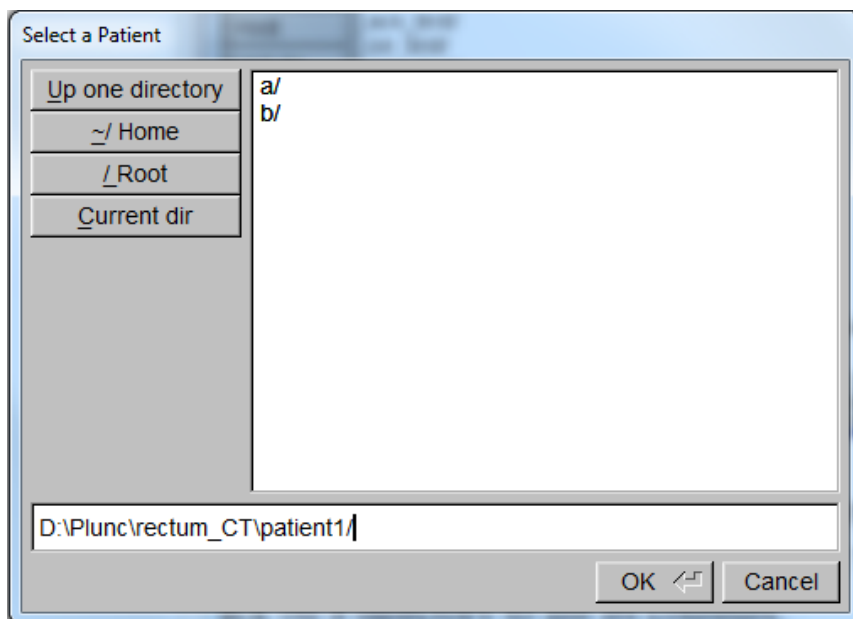
1. Для запуска *PLUNC*, и непосредственного начала планирования в директории пациента необходимо ввести команду:

`plunc6`

PLUNC отобразит панель *Startup Options*:



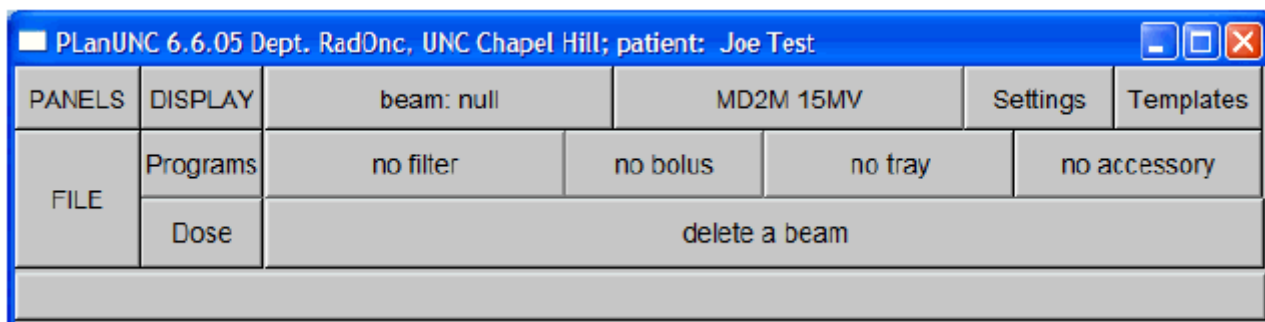
2. Для выбора пациента необходимо нажать кнопку *Select Patient*. *PLUNC* отобразит диалоговое окно *Select a Patient*.



В диалоговом окне необходимо выбрать пациента в каталоге, созданном ранее.

3. Для запуска *PLUNC* на панели *Startup Options* выберите Options>Run Plunc.

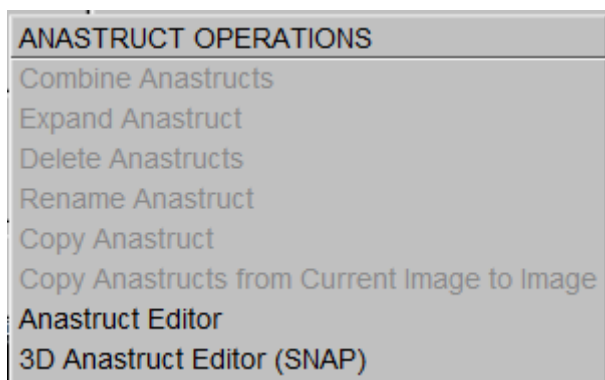
4. *PLUNC* отобразит главную панель управления. Именно ее вы и будете использовать для создания плана лечения пациента.



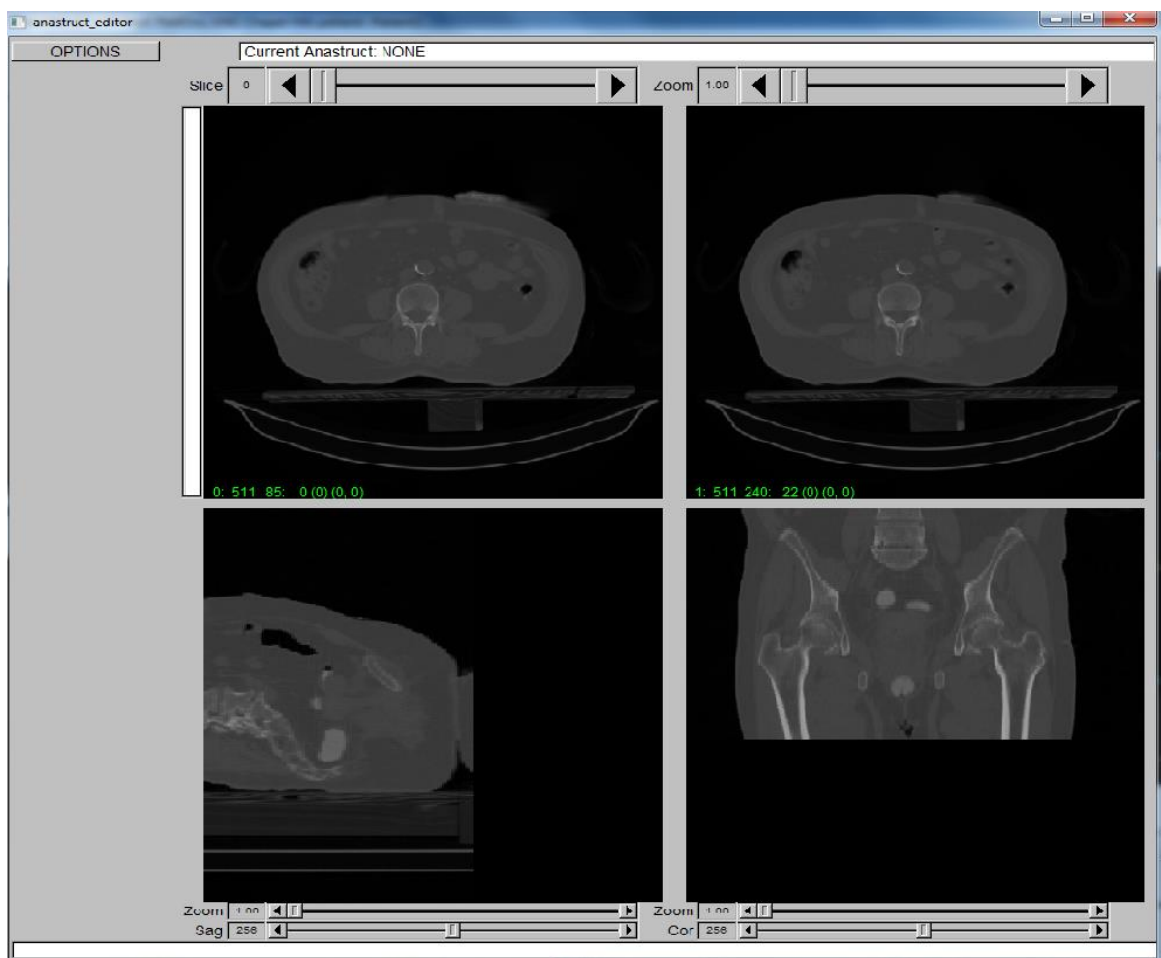
3. Оконтуривание кожи пациента

1. Для проведения оконтуривания необходимо запустить редактор контуров – *Anastruct Editor*. Для этого на главной панели управления необходимо кликнуть *Programs*.

2. *PLUNC* отобразит меню *ANASTRUCT OPERATIONS*:



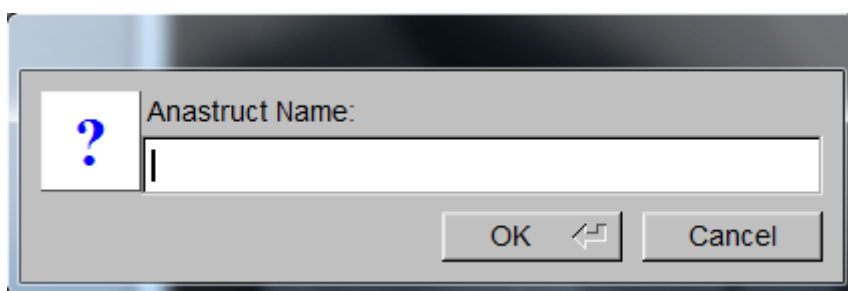
3. Выберите опцию *Anastruct Editor*. *PLUNC* отобразит окно редактора контуров:



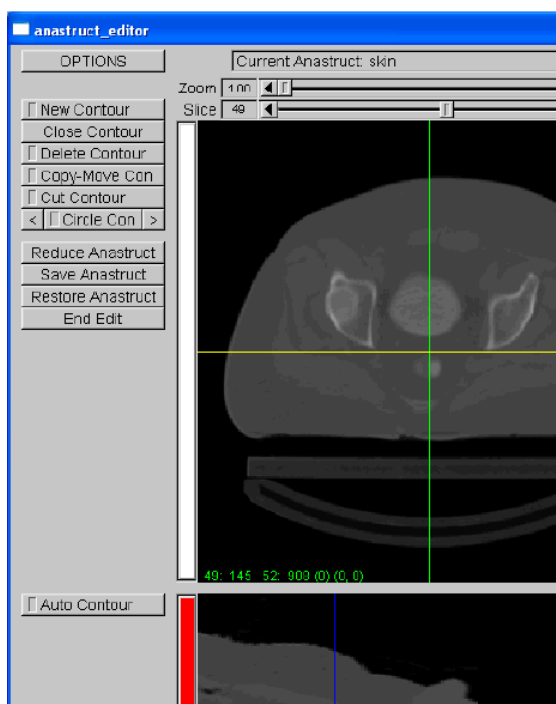
4. Для создания нового контура в окне *Anastruct Editor* необходимо выбрать меню опций *OPTIONS*



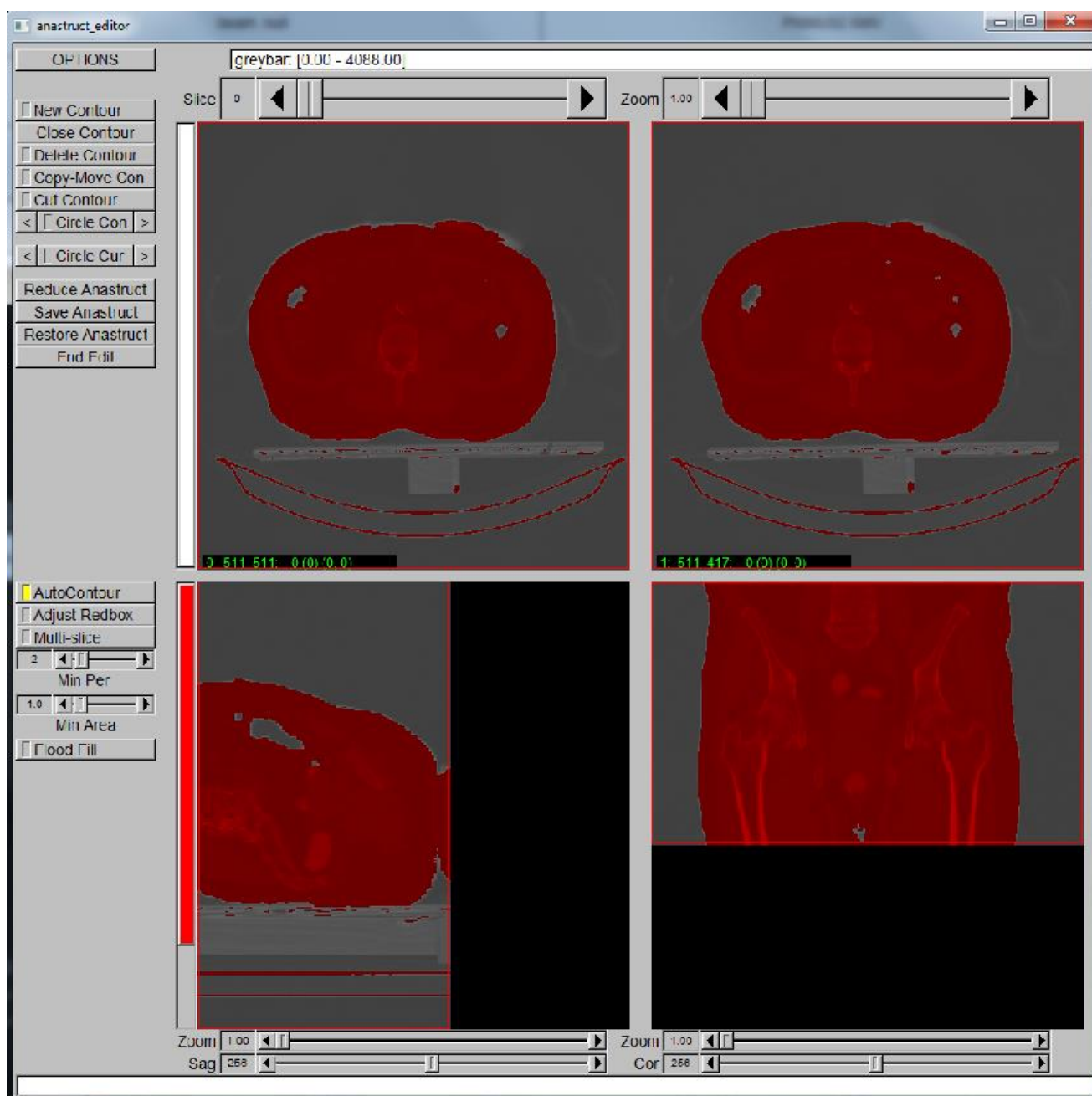
5. Выберите пункт *New Anastruct*. *PLUNC* отобразит окно для ввода наименования контура.



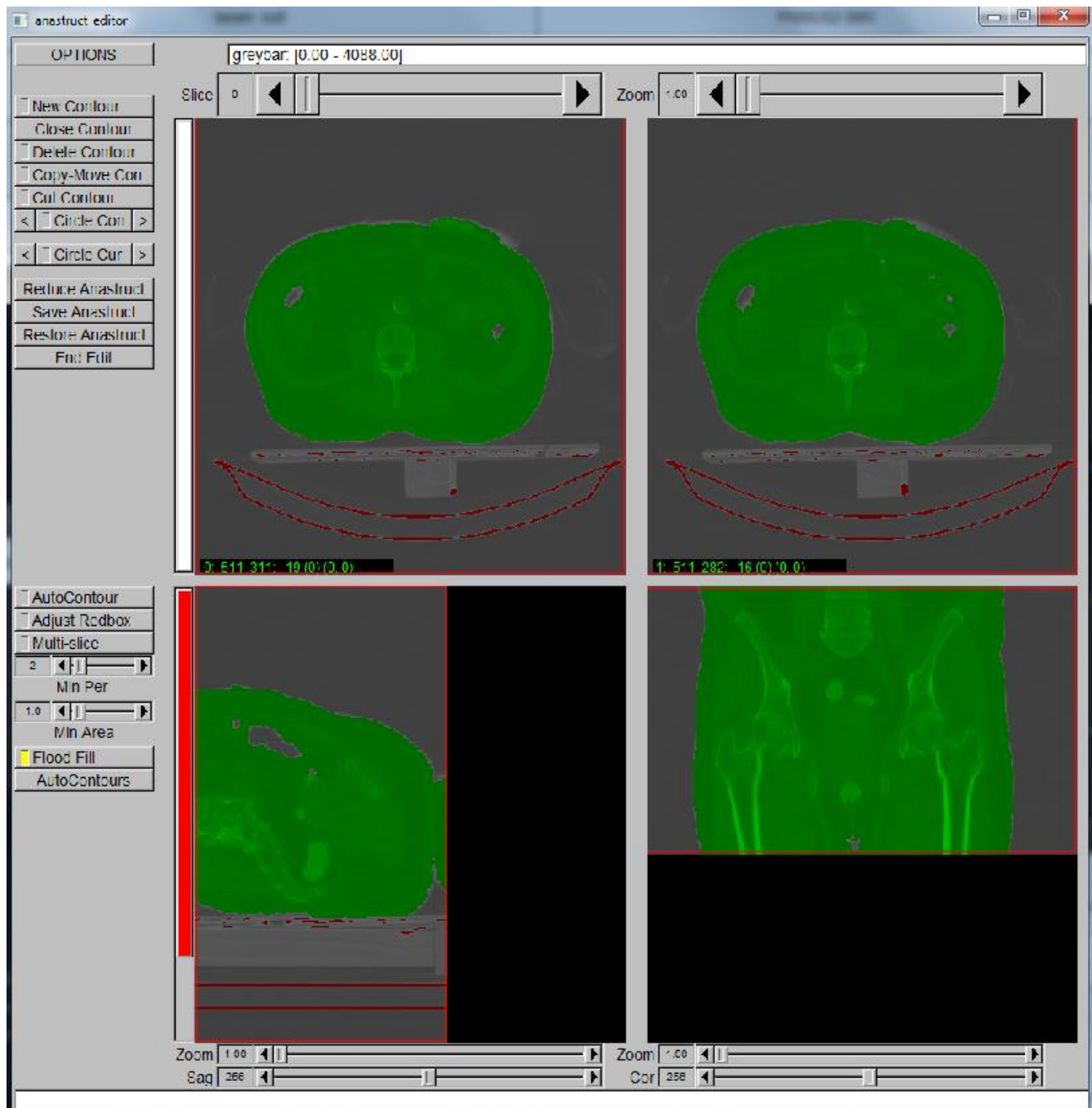
6. Введите *skin* и нажмите *OK*. *PLUNC* отобразит окно создания контура.



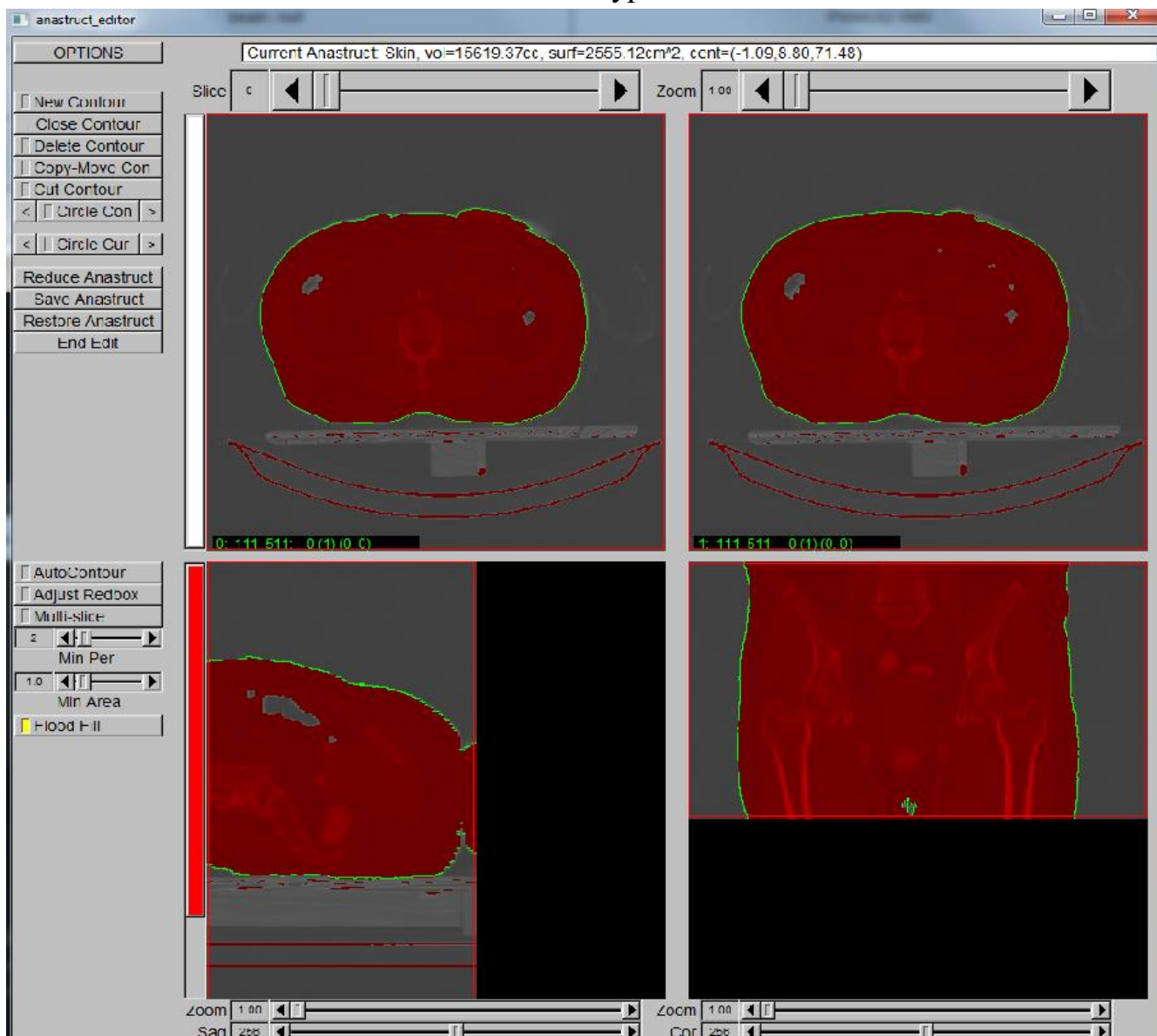
7. Кликните *Auto Contour*. Все срезы станут красными.



8. Кликните *Flood Fill*. И выберите указателем мыши область внутри кожи на всех четырех проекциях. Изображения при этом должны окраситься зеленым:



9. Кликните *Auto Contour*. Контур кожи должен стать зелёным.



10. Для сохранения контура нажмите *Save Anastruct*.
11. Кликните *End Edit*.

Примечание: команду Auto Contour можно использовать лишь при условии замкнутости контура пациента.

4. Оконтуривание органа риска пациента

1. Для создания нового контура необходимо на главной панели управления *Programs > Anastruct Editor*
2. *PLUNC* отобразит меню *ANASTRUCT OPERATIONS*. Выберите *OPTIONS> New Anastruct*.
3. Введите имя контура, а именно - *Rectum*. *PLUNC* отобразит окно создания контура.
4. Кликните *New Contour*. Индикатор на клавише окрасится в желтый цвет, а указатель мыши примет форму карандаша. Обведите контур прямой кишки. Необходимо завершить контур, для этого на левой панели инструментов нажмите клавишу *Close Contour* либо воспользуйтесь правой клавишей мыши. Проведите оконтуривание на всех слоях. Для смены слоя воспользуйтесь горизонтальной панелью прокрутки.
5. Если оконтуривание завершено, кликните *Save Anastruct>End Edit*.

Таким же образом необходимо провести оконтуривание органов риска, а именно:

5. Оконтуривание мочевого пузыря (Bladder)

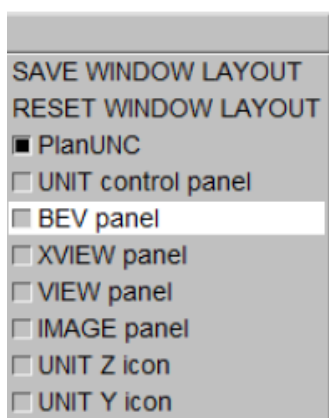
6. Оконтуривание матки и шейки матки (Uterus)

Примечание. При большом количестве необходимых контуров, очень удобно менять их цвет, для этого необходимо вызвать панель Anastruct Attributes в меню команды OPTIONS.

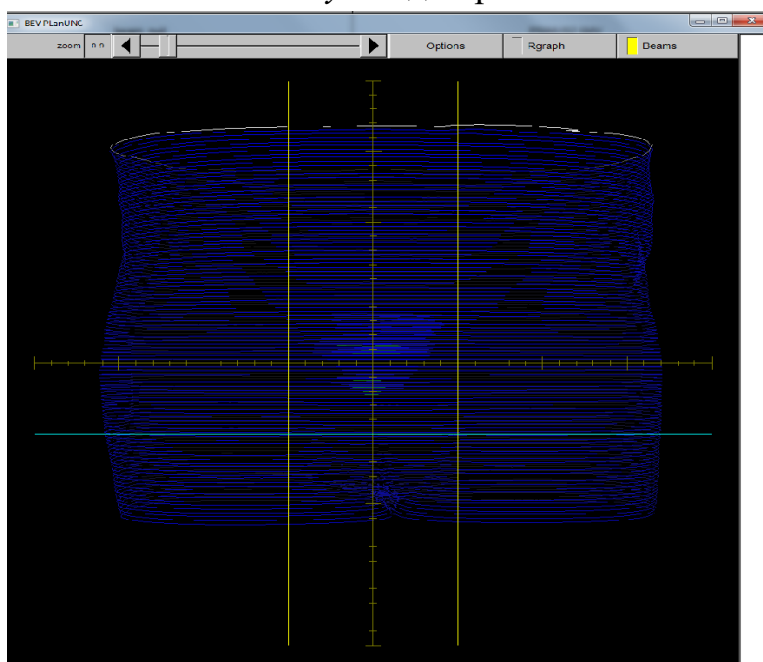
7. Редактирование окна Вид из пучка (BEV window)

Следуя основной цели лучевой терапии, необходимо обеспечить максимальное поражение раковых клеток, при минимальном воздействии на здоровую ткань, для этого необходимо выбрать оптимальный план лечения на основе гистограмм DVH. В данной лабораторной работе будет рассматриваться влияние терапии на тело человека при различных положениях лучей, и как следствие различных формах поля. Для начала необходимо отредактировать окно *Вид из пучка*. Для этого необходимо проделать следующие пункты:

1. Отобразите окно *Вид из пучка* при его отсутствии, при помощи опции
PANELS>BEV panel

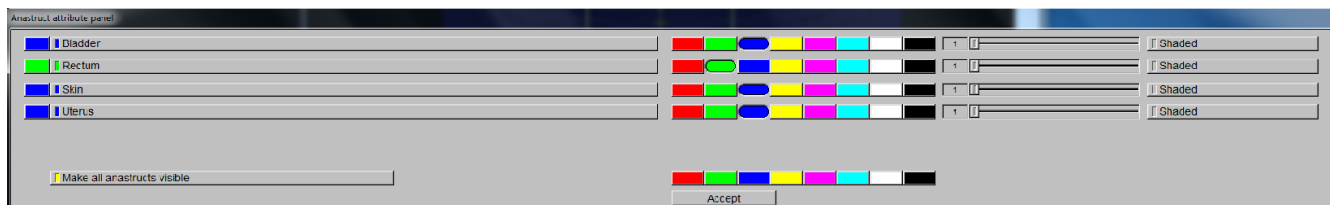


2. Окно *Вид из пучка* до применения элементов редактирования:



3. Для изменения размера изображения используйте горизонтальную панель
Zoom

4. Для редактирования изображения нажмите *DISPLAY*. В появившемся окне *DISPLAY ATTRIBUTES menu* выберите *ANASTRUCTS*. На экране отобразится окно редактирования контуров:



5. Для улучшения восприятия измените цвет каждого контура, для этого в строке контура следует выбрать ячейку необходимого цвета. В том же окне возможно задать прозрачность/непрозрачность органа при помощи клавиши *Shaded*. Частота (количество видимых срезов) задается при помощи горизонтальной линейки редактирования.

6. Установите для контуров следующие значения:

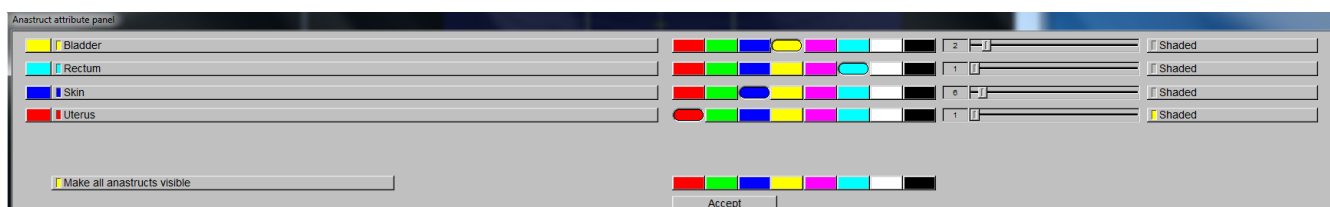
Bladder – жёлтый, 2;

Rectum – голубой, 1;

Skin – синий, 6;

Uterus – красный, 1, *Shaded*.

Панель редактирования должна принять следующий вид:



7. Нажмите *Accept* для завершения редактирования контуров.

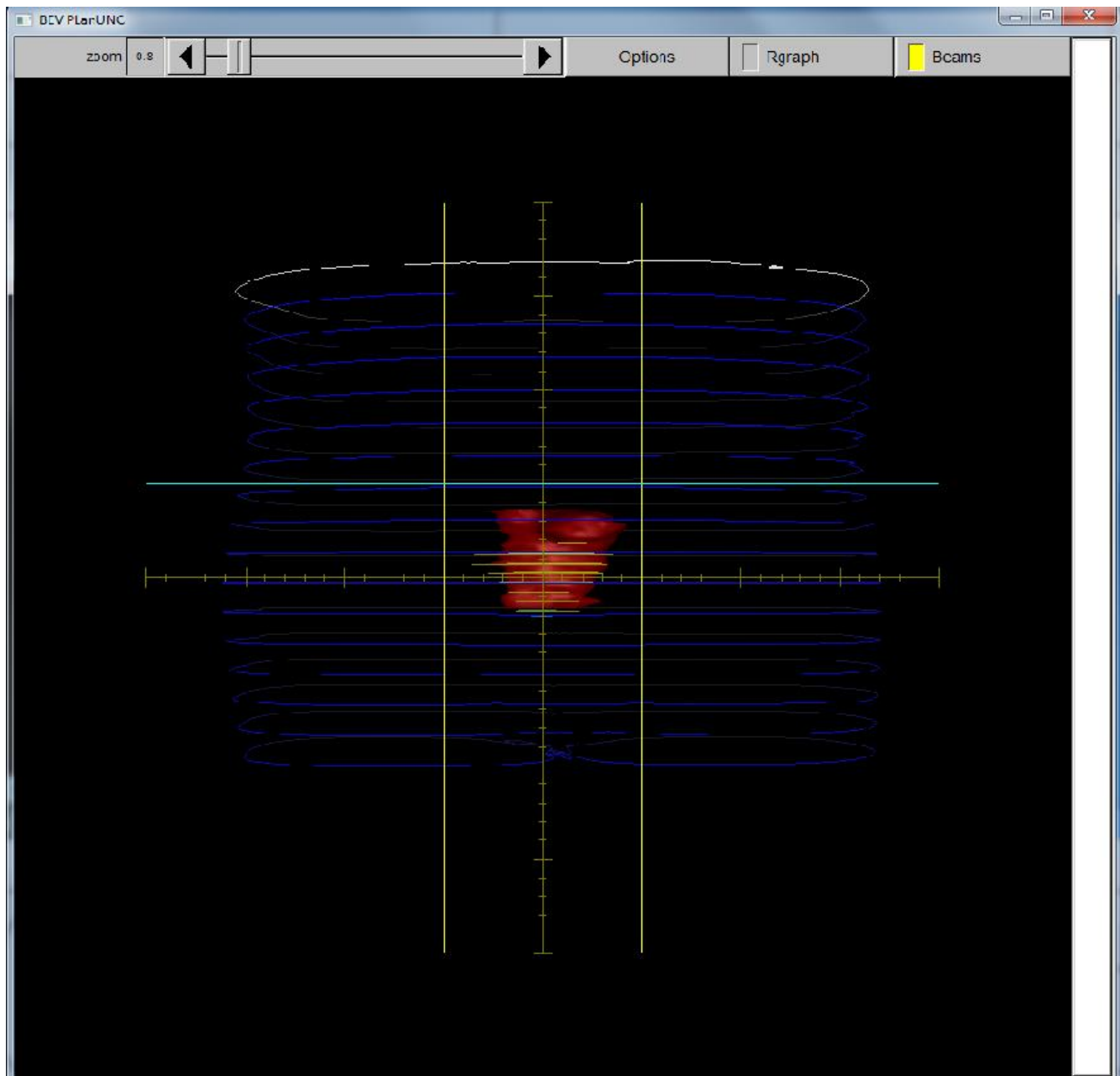
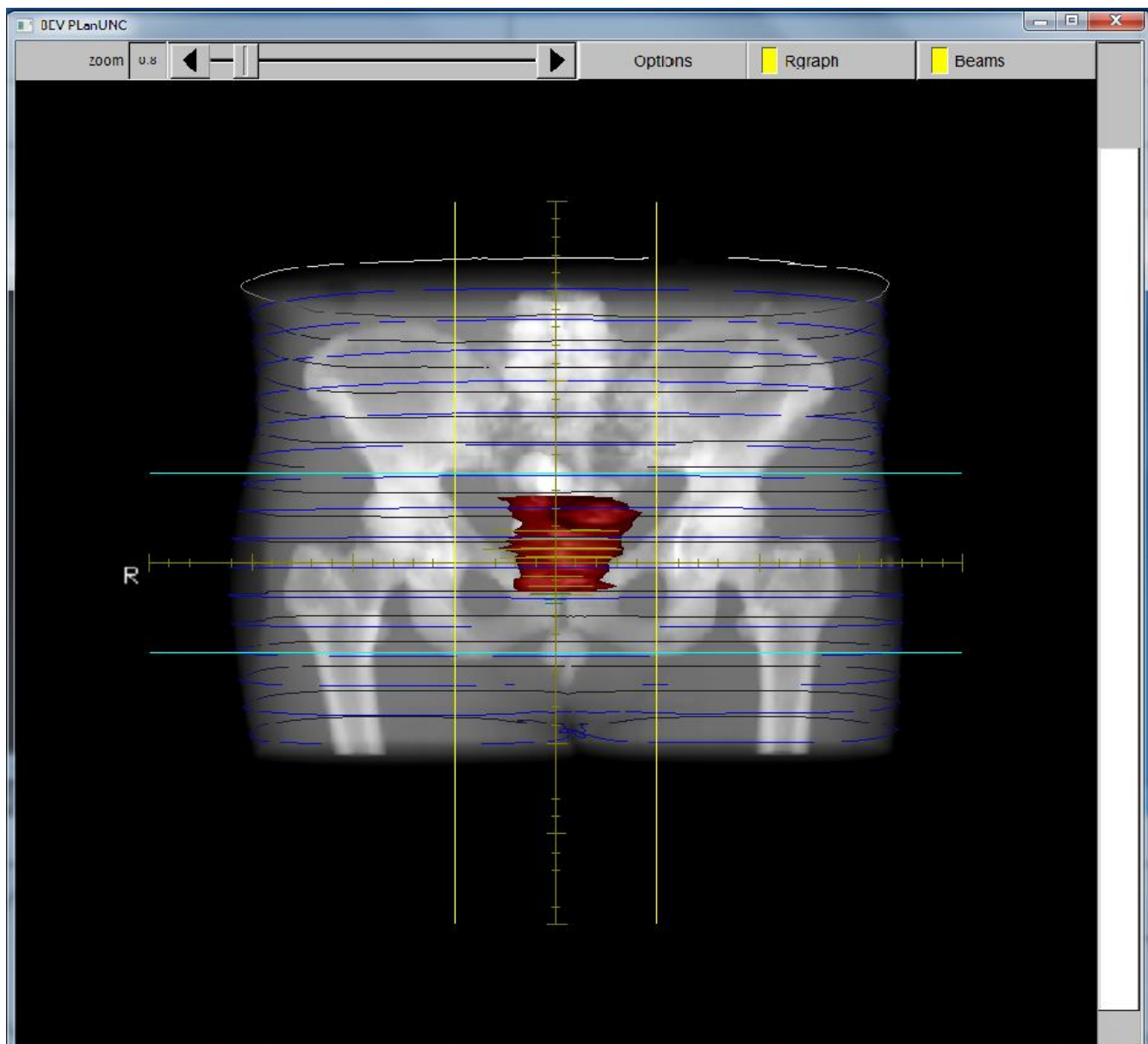


Рис. Отредактированный Вид из пучка

8. При помощи нажатия кнопки *Rgraph* в верхней части окна *BEV window* возможно преобразовать исходное изображение в изображение относительно костной ткани.



8. Добавление пучков

Для сравнения оказываемых терапией воздействий рассмотрим 5 случаев расположения пучков:

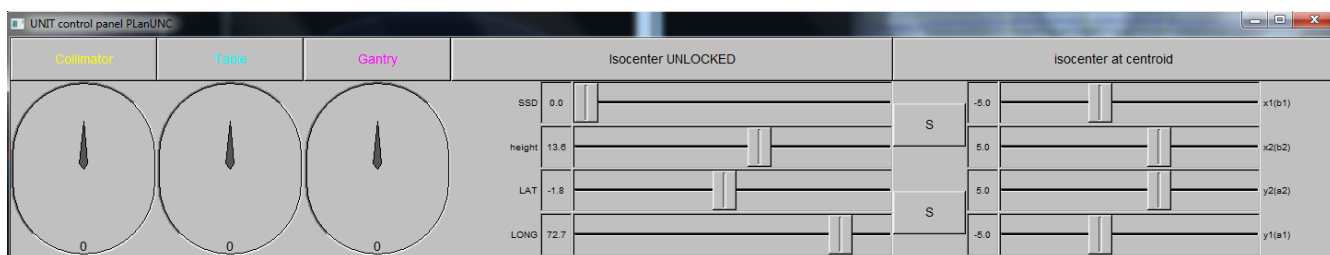
- а. «Коробка» - 4 поля (60 Гр/ 2 Гр)
- б. Поле, создаваемое мульти лепестковым коллиматором

- с. 5 полей без клиньев
- д. 5 полей с клиньями
- е. «Коробка» - 4 поля (60 Гр/ 3 Гр)

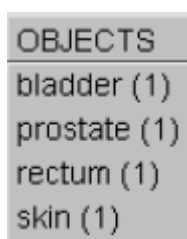
9.1. «Коробка» - 4 поля

В этой части необходимо подвергнуть раковые клетки общей суммарной дозе в 60 Гр по 2 Гр за фракцию. Для этого:

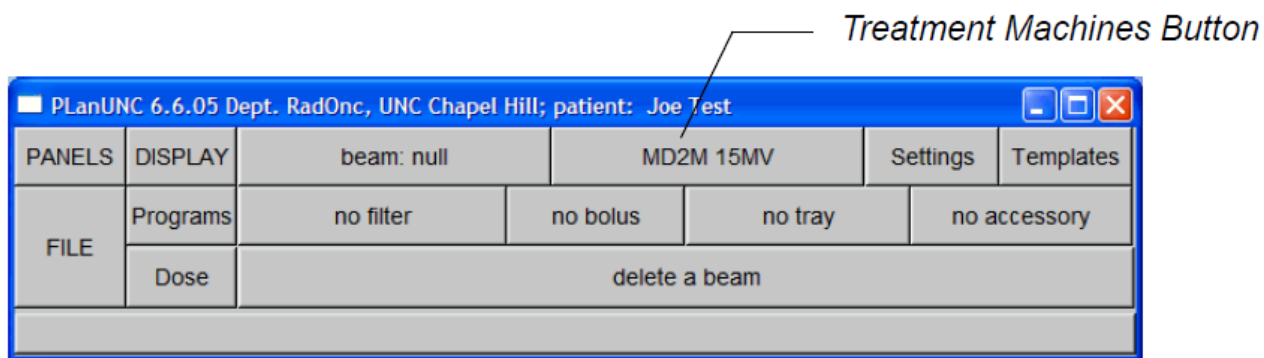
1. В верхней части окна *BEV window* необходимо нажать кнопку *Beams* (индикатор должен стать желтым).
2. Если на дисплее не отображается окно редактирования пучков, необходимо активировать его при помощи команды *PANELS>UNIT* на главной панели управления. Оно имеет вид:



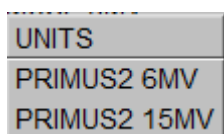
3. Для того чтобы определить основной орган воздействия необходимо центровать пучки, нажмите на надпись “isocenter at centroid” в окне *UNIT control panel PLUNC* отобразит *OBJECTS menu*.



4. Выберите *Rectum*. Если пучки не будут выровнены, то изображение будет меняться при добавлении новых пучков.
5. Для того чтобы зафиксировать центр кликните на “*Isocenter UNLOCKED*”. Надпись должна измениться на “*Isocenter LOCKED*”.
6. На главной панели управления имеется клавиша, позволяющая изменить машину, режим и энергию пучков:

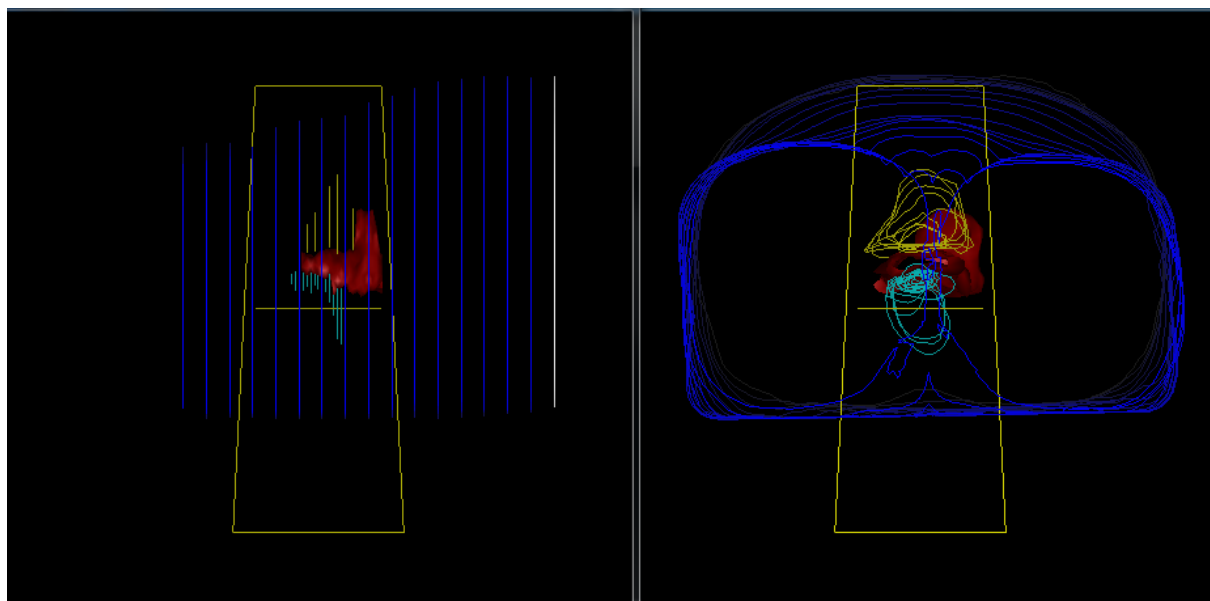


7. Необходимо выбрать машину *PRIMUS2 15 MV*:

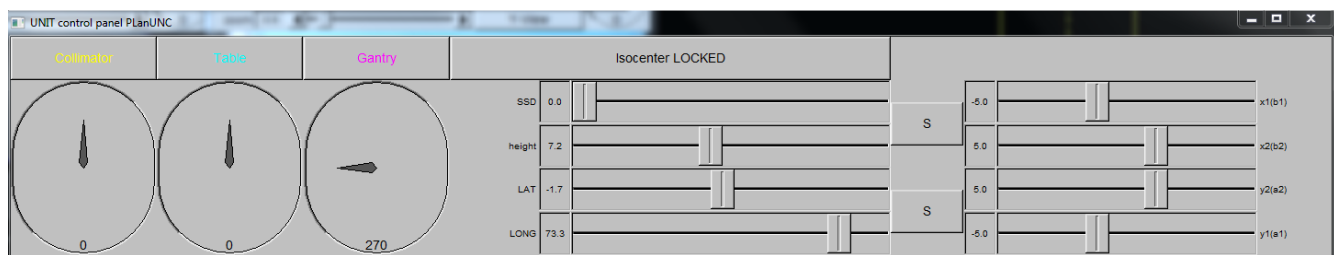


8. Для добавления нового пучка выберите “*beam: null*”>“new beam”.

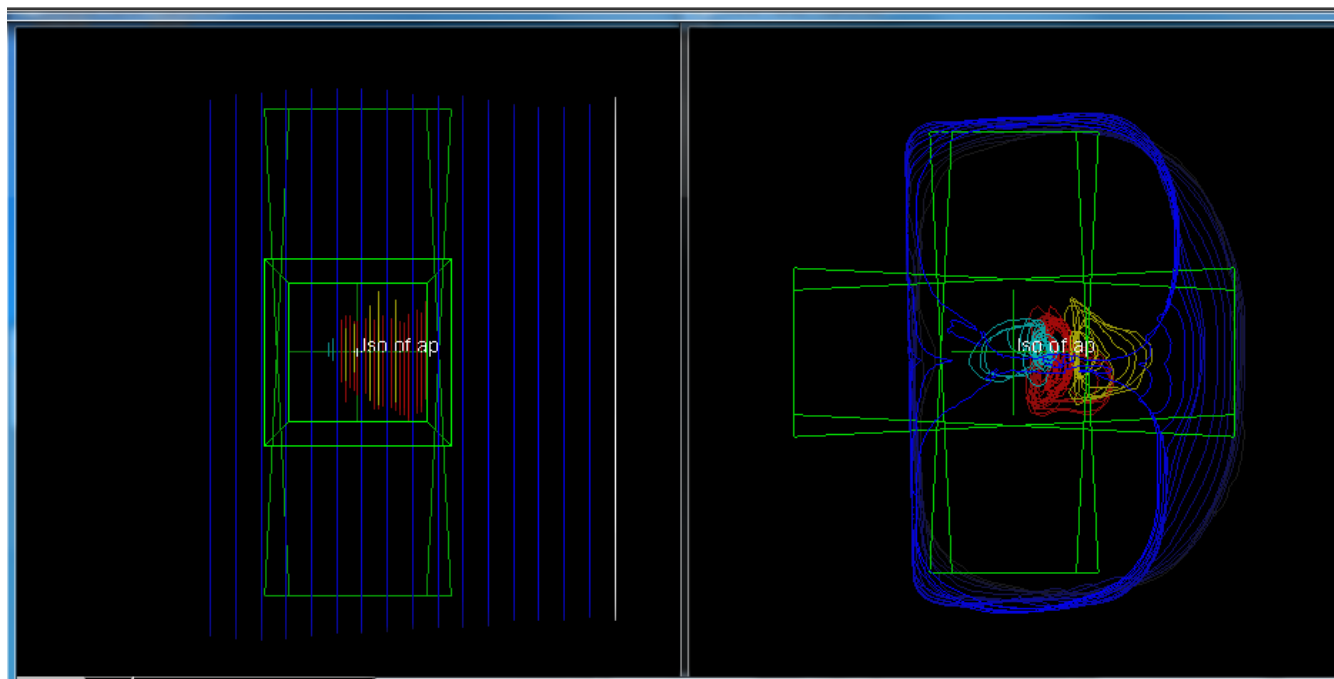
Добавленный пучок имеет вид:



9. Необходимо создать 4 пучка с углами поворота в 0° , 90° , 180° и 270° . Для этого добавьте новые пучки и измените углы поворота в окне редактирования пучков *UNIT control panel*, для этого при помощи зажатой левой клавиши мыши выберите необходимый угол в подокне *Gantry*.

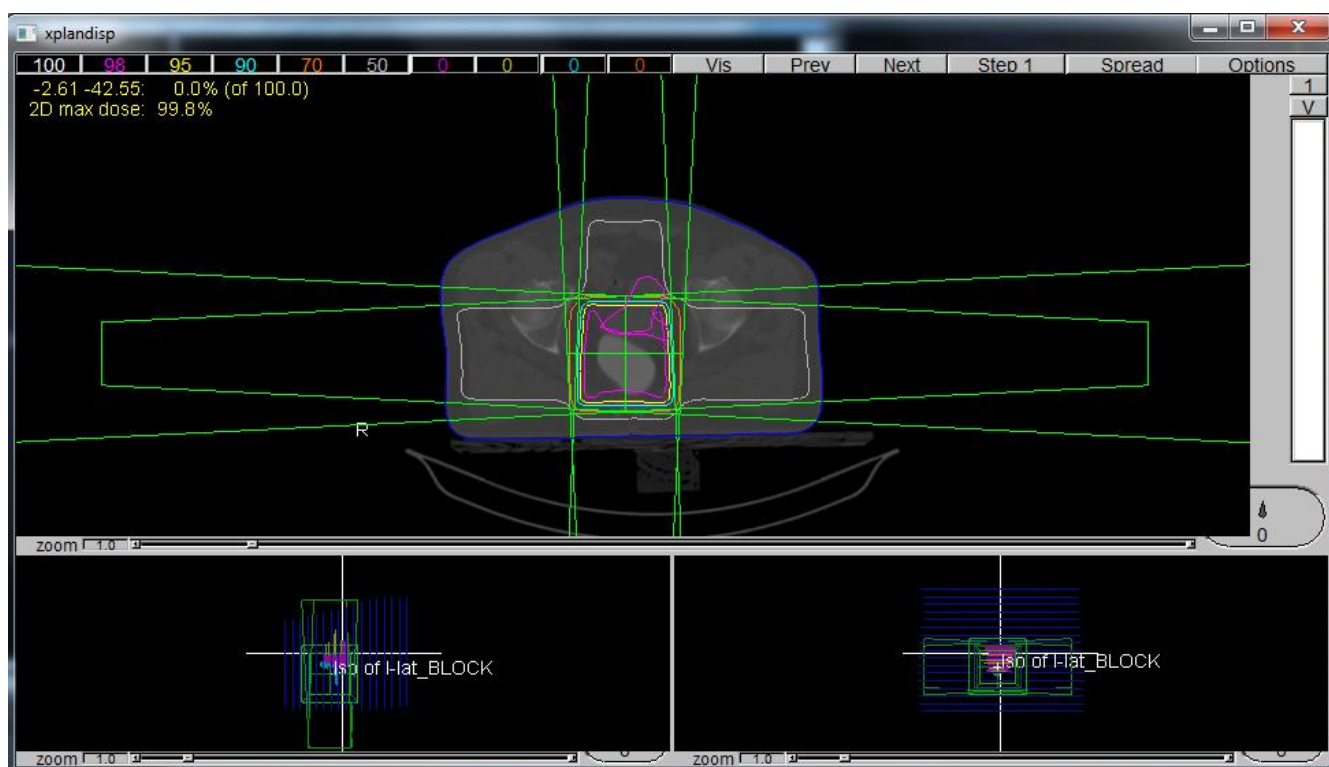


10. Созданные пучки имеют вид:



10. Редактирование дозы

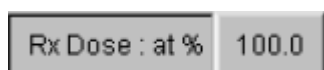
1. Выберите кнопку *Dose* на главной панели управления. *PLUNC* отобразит окно редактирования дозы:



2. Кликните *Spread* для отображения таблицы, содержащей информацию о дозе

Spreadsheet						
Close	Norm Pt	so of I-lat_BLOCK				
	Rx Site:					
Setup	Rx Dose : at %	100.0	100.0			
HardCopy	D/frac : #fracs	100.0	1.0			
Xirreg	100% = 100	I-lat_BLOCK	pa_BLOCK	r-lat_BLOCK	ap_BLOCK	
Export	Reset Wts	1.00	1.00	1.00	1.00	
so of I-lat_BLOCK	100.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
Print Window		33.5 MU	26.0 MU	32.3 MU	30.8 MU	

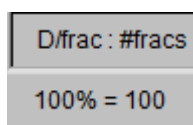
3. Для того чтобы задать суммарную дозу нажмите на клавишу правее от надписи *Rx Dose*



5. *PLUNC* отобразит цифровую панель

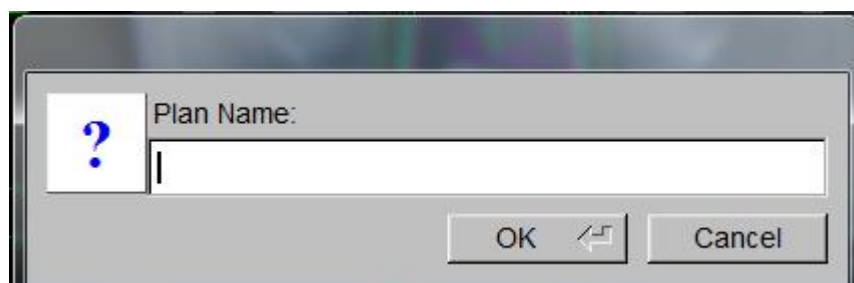


6. Наберите 6000 и нажмите *Accept*
7. Для определения количества фракций нажмите на клавишу правее *D/frac* (*dose per fraction*), введите необходимое число, при этом величина дозы соответствующая фракции должна измениться.
8. Нажмите на клавишу под

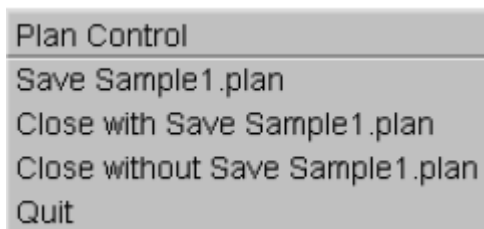


PLUNC отобразит цифровую панель.

9. Введите 6000 и нажмите *Accept*. Нажмите кнопку закрытия для завершения настроек.
10. Для сохранения существующего плана нажмите на клавишу *FILE* на главной панели управления. В открывшемся меню выберите пункт *Save Plan*. *PLUNC* отобразит диалоговое окно

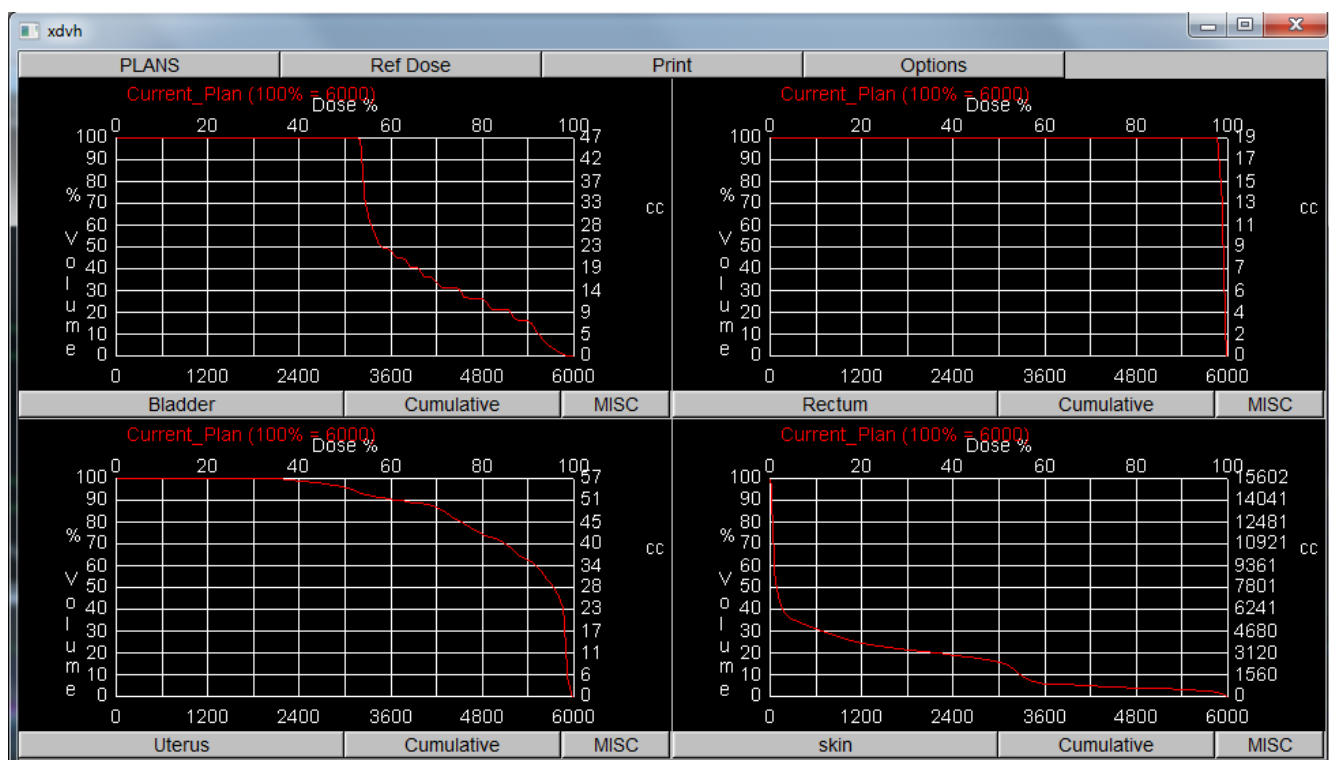


11. Наберите *Sample1*. Нажмите клавишу *OK*.
12. Для завершения сохранения плана, повторно нажмите клавишу *FILE* на главной панели управления. *PLUNC* отобразит окно *Plan Control menu*



13. Выберите пункт “*Close with Save Sample1.plan*” . Перед созданием нового плана необходимо сохранить текущий.

14. Для расчета и оценки дозы получаемой каждым срезом, необходимо построить диаграммы DVH, для этого выполните *Options>DVH*. На экране отобразятся диаграммы, посредством их сравнения выбирается наиболее приемлемый для лечения органов метод.

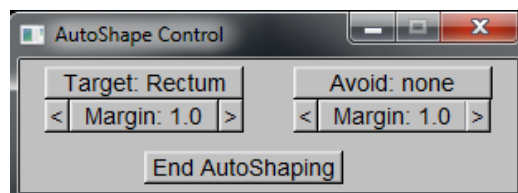


15. Сохраните текущий план.

9.2. «Многолепестковое» поле

1. Добавьте новый пучок, следуя первым 8 шагам пункта 9.1. На главной панели управления нажмите кнопку *Draw Beam*. В появившемся окне выберите *AutoShape>Rectum*.

2. Нажав клавишу *Margin* выберите значение поля в 1 см.

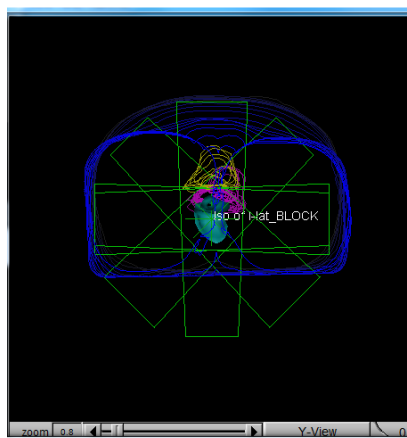


3. Нажмите End AutoShaping.
4. Для завершения редактирования пучка нажмите на клавишу *beam*.
5. Подобным образом, необходимо создать еще 3 пучка с углом в 90° , 180° , 270° .
6. Сохраните текущий план под именем *Sample2*.
7. Добавьте DVH-диаграмму. Для того чтобы сравнить ее с предыдущей, нажмите кнопку PLANS в окне диаграмм и выберите интересующий файл.

9.3. 5 полей без клиньев

Алгоритм аналогичен пунктам 9.1.

Примечание! Необходимо изменить лишь количество пучков и соответственно, углы их падения. Выберите наиболее приемлемый вариант. Постройте диаграмму и сравните ее с предыдущими, предварительно сохранив план под названием Sample3.

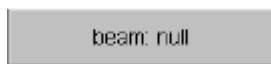


9.4. 5 полей с клиньями

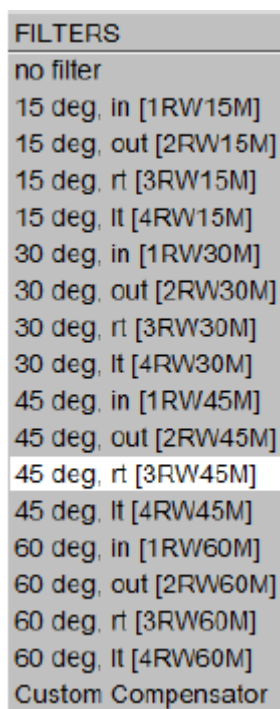
PLUNC также позволяет менять угол воздействия определенного пучка. Для этого используются так называемые «клинья». При помощи них задается

угол отклонения, благодаря которому меняется распределение и, как следствие, воздействие лучей на органы риска уменьшается.

1. Для того чтобы добавить клин, выберите при помощи клавиши *beam:null* требуемый пучок.



2. Для добавления клина, на главной панели управления нажмите на кнопку “no filter”. В отобразившемся меню выберите угол, обеспечивающий наиболее выгодное распределение.



3. Постройте диаграмму и сравните ее с предыдущими, предварительно сохранив план под названием Sample4.

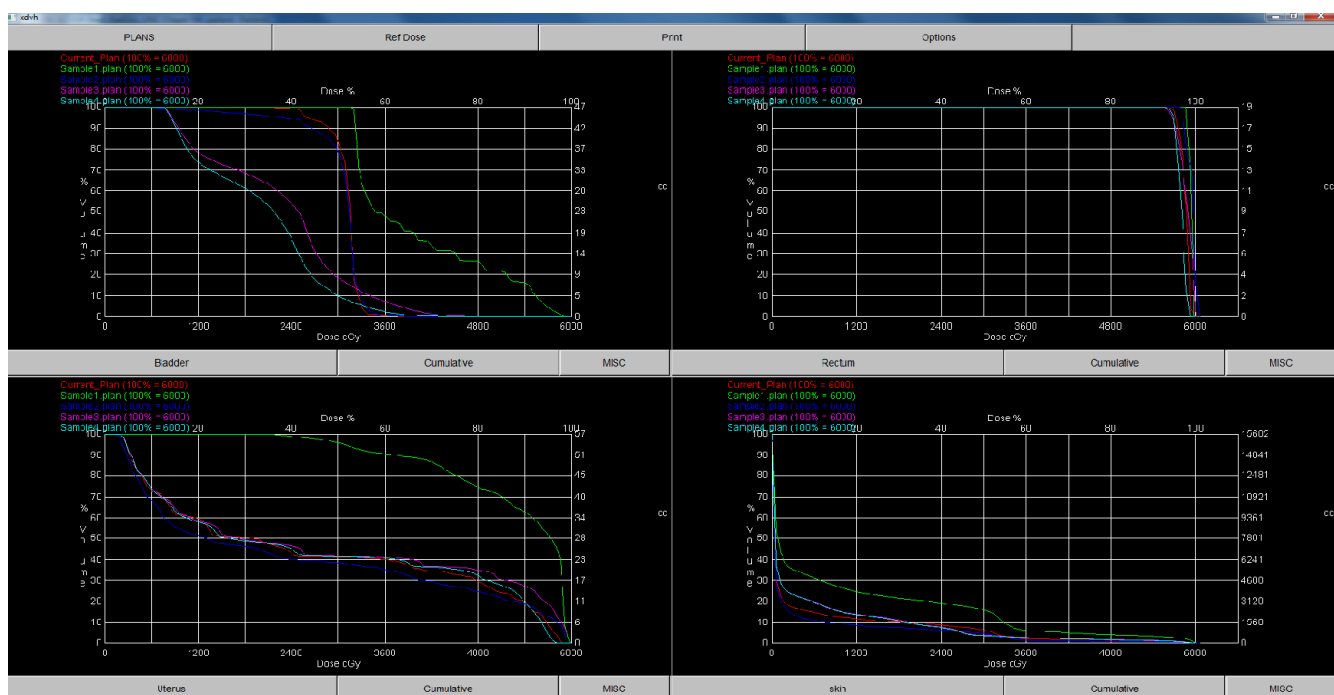
9.5. «Коробка» - 4 поля

В этой части необходимо подвергнуть раковые клетки общей суммарной дозе в 60 Гр по 3 Гр за фракцию.

Алгоритм работы аналогичен пунктам 9.1.

Примечание! Необходимо изменить лишь значение дозы за фракцию. Для этого необходимо изменить их количество. Следуя пунктам 10, вычислите количество фракций удовлетворяющих заданию. Постройте диаграмму и

сравните ее с предыдущими, предварительно сохранив план под названием Sample5. Полученные диаграммы, используются при определении наиболее эффективного метода лечения пациента. Сравните их и сделайте вывод.



II часть. Основы IMRT – планирования

PlanUNC позволяет создавать IMRT планы лечения пациентов на основе использования функций оптимизации дозы. Для того чтобы выполнить действия описанные в этой главе, необходимо создать определенный план лечения, на основе которого и будет происходить создание IMRT плана лечения.

В системе планирования PLUNC этот процесс включает в себя следующие этапы:

- Выбор целей оптимизации
- Оптимизация
- Выбор метода IMRT – планирования: статическая и подвижная.

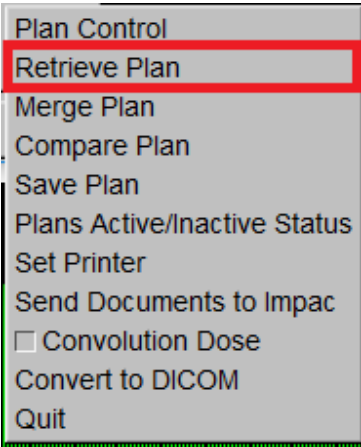
1. Выбор целей оптимизации

Постановка/выбор целей оптимизации включает в себя определение требуемых уровней доз для одной или нескольких целевых структур, а также определение

желаемых пределов доз для нормальных структур (здоровых тканей и органов риска).

Для того чтобы установить цели оптимизации, выполните следующие действия:

1. В PLUNC вы можете использовать текущий план, либо выбрать загрузить созданный ранее при помощи команды FILE>Retrieve Plan на главной панели управления:



2. Нажмите кнопку *Dose* на главной панели управления. *PLUNC* отобразит окно редактирования дозы.
3. Для отображения панели оптимизации дозы выберите Options>Optimizer.

Dose Optimizer				
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	100.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Opt 0: 0.00			Options	

В первой колонке будут приведены списки имеющихся контуров, во второй – значение предписанных доз, в третьей – весовой множитель, в четвертой

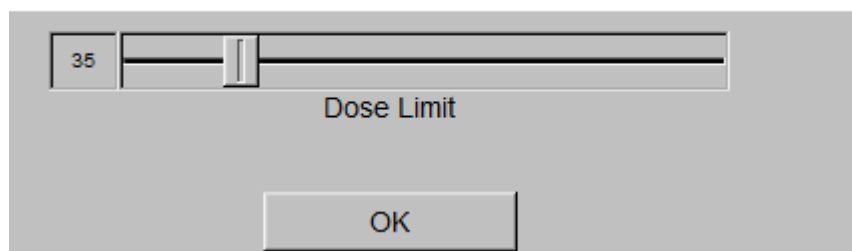
колонке возможен выбор цели, в последней отображается эффективность по отношению к цели.

4. Нажмите Anastruct. PLUNC перечислит имеющиеся контуры в меню Objects:

OBJECTS
PTV (1)
bladder (1)
lymph_nodes (1)
lymph_nodes_left (1)
lymph_nodes_right (1)
rectum (1)
skin (1)
uterus (1)

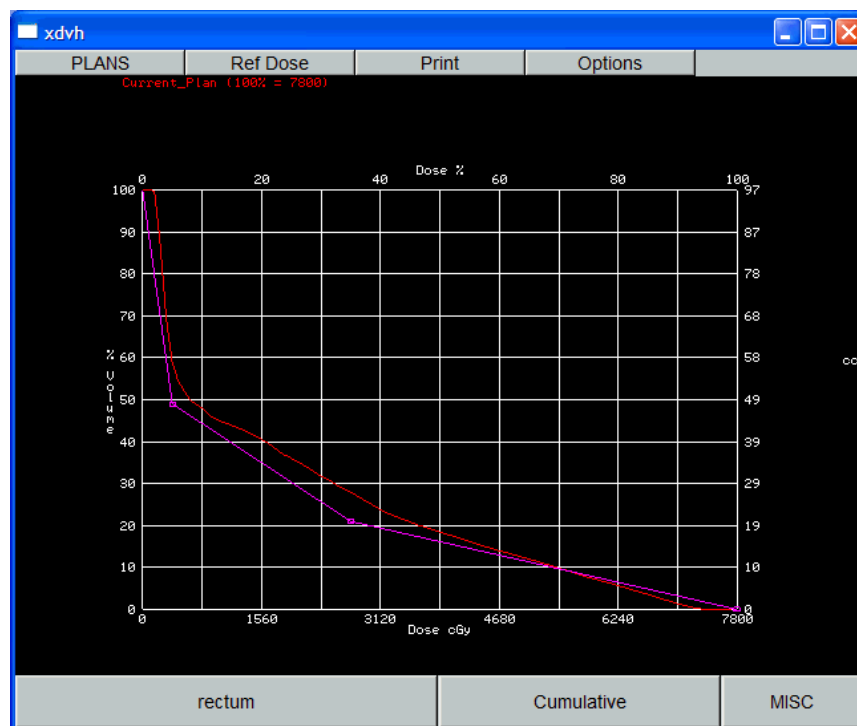
5. Из списка контуров выберите необходимую цель. PLUNC предполагает, что контур, который вы задаете в верхней строчке, является объектом лечения, напротив него автоматически включается индикатор Target. Для мишени, число во втором столбце представляет собой значение предписываемой равномерно распределяющейся дозы, которую она должна получить в пределах погрешности в 5%. Для не-мишеней, число представляет собой максимальную дозу, которую они должны получить.
6. После выбора цели, заполните другие строки панели Dose Optimizer, посредством выбора оставшихся контуров, для которых требуется задать предел получаемой дозы. Для этого нажмите кнопку Anastruct и выберите необходимый контур. Для того чтобы установить предел дозы для контура введите необходимое значение дозы во второй колонке. Первоначально она имеет значение общей назначенной дозы. PLUNC отображает диалоговое меню Limit в котором вы можете выбрать опцию Single Value либо опцию User DVH.

Single Value. Если была выбранная данная опция, PLUNC отобразит окно, в котором вы можете задать значение предела дозы:



Выберите необходимое значение и кликните Ок.

User DVH. Если была выбрана данная опция, значит PLUNC будет определять значение предела дозы для контура исходя из гистограммы доза – объем (DVH – гистограмма). В окне DVH – гистограмм PLUNC отобразит фиолетовую линию, на которой можно будет изменить значение максимума. Для создания точки нажмите правой кнопкой мыши на линии. Для ее удаления нажмите Shift – правая кнопка. Зажав среднюю кнопку мыши можно переместить точку на графике:



7. Задание весовых коэффициентов. (Необязательно)

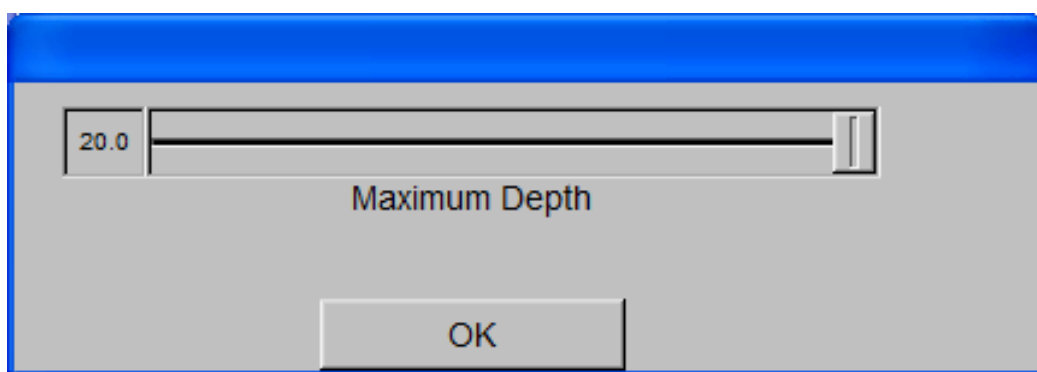
По умолчанию, весовые коэффициенты для всех структур установлены на 1,0. Установка более высокого весового коэффициента для структуры может улучшить близость ее распределения дозы до желаемой дозы при наличии нескольких структур с конкурирующими целями. Вероятнее всего,

необходимость изменения весовых коэффициентов для более мелких структур будет выше, нежели для крупных. Когда вы улучшите дозиметрию для конкретной структуры, дозиметрические качества для других могут ухудшиться.

2. Оптимизация

Для оптимизации распределения дозы и вычисления наиболее оптимальной карты интенсивности (изодозовой карты), выполните следующие действия:

8. На панели Dose Optimizer выберите Options>Compensator Depth. PLUNC отобразит диалоговое окно Maximum Depth:



Толщина компенсатора соответствует максимально возможной вариации дозы в карте интенсивности. То есть, чем больше толщина, тем больше он может ослабить величину полученной дозы.

9. Если вы собираетесь использовать метод MLC IMRT, установите глубину до максимально возможного значения (20 см). Нажмите кнопку ОК.

Если вы собираетесь использовать болюс, установите максимальную реализуемую на практике толщину. Нажмите кнопку ОК.

10. На панели Dose Optimizer нажмите на кнопку Optimization расположенную в левом нижнем углу. Она имеет название схожее с “Opt 0: 0.64.”. Число слева от двоеточия указывает на количество шагов оптимизации, которые были выполнены. Число справа от двоеточия указывает на то, насколько близко план отвечает предлагаемым ограничениям, 1.00, указывает на то, что поставленные цели были достигнуты полностью.

Dose Optimizer				
prostate	7800.0	1.0	☒ Target	Goal 0.87
rectum	DVH	1.0	☐ Target	Goal 0.13
Anastruct	7800.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	7800.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	7800.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	7800.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	7800.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	7800.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Anastruct	7800.0	1.0	☐ Target	Goal 0.00
Opt 0: 0.50			Options	

Когда вы нажмете на кнопку Optimization PLUNC отобразит меню Iterations:

Iterations
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

11. Выберите число итераций. Вы можете выполнить задать дополнительную оптимизацию, если первый набор итераций не приближает к поставленной цели. Число итераций для выполнения поставленной задачи часто составляет от 10 до 20, хотя возможно и меньшее количество.
12. Сохраните план используя кнопку File на главной панели управления.

Показатель эффективности облучения

Числа в крайнем правом столбце на панели Dose Optimizer указывают на эффективность облучения по отношению к выбранной цели для каждого выбранного контура. Для объема опухоли это значение должно составлять величину предписанной дозы в пределах 5%.

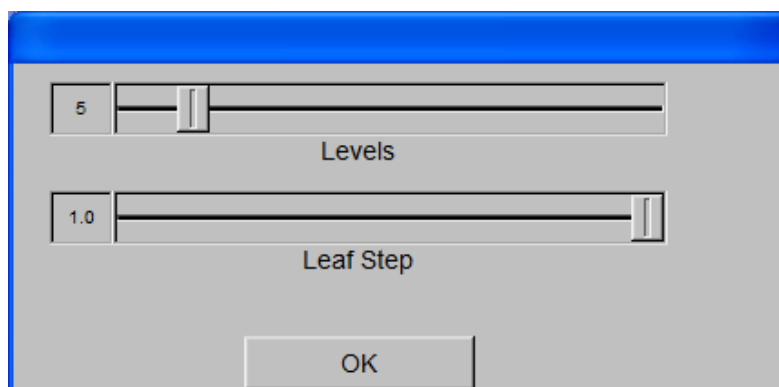
Для нецелевых структур, это число указывает на долю объема получившей максимальную желаемую дозу или меньше. Например, значение 0,87 для

нецелевой структуры означает, что 87 процентов структуры получило значение дозы не превышающее величину максимально предписанную для нее.

MLC IMRT

Для преобразования плана в MLC IMRT, выполните следующие действия:

13. На панели Dose Optimizer выберите Options>Convert to MLC. PLUNC отобразит диалоговое окно MLC:



14. Выберите число уровней MLC, в котором идеальная карта интенсивности будет равномерно разделена после вычитания общей платформы.

Несмотря на то, что увеличение количества уровней может улучшить план лечения, он также увеличивает количество сегментов и, таким образом, увеличивает время обработки. Если улучшение плана минимально, необходимо рассмотреть вопрос о том, стоит ли оно оказываемых для пациента неудобств.

15. Выберите размер шага лепестка (не более 1,0 см). Нажмите кнопку ОК.
16. Сохраните план.

Список используемых источников

1. МАГАТЭ Определение поглощенной дозы при дистанционной лучевой терапии: международные практические рекомендации по дозиметрии, основанные на эталонах единицы поглощенной дозы в воде//Серия технических докладов №398. – Вена, 2004. – 251 с.
2. Специальный физический практикум: учебное пособие/В.В.Кашковский; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 404 с.
3. User's Guide - PPC40 Ionization Chamber. – Schwazenbruck, Germany: IBA Dosimetry GmbH, 2013.
4. User's Guide - FC65-G Ionization Chamber. – Schwazenbruck, Germany: IBA Dosimetry GmbH, 2013.
5. Руководство пользователя «DOSE 1». IN/OM 2068 (RUS) (5), 2009. - 71 с.
6. Руководство по эксплуатации системы в клиническом режиме для систем: Elekta Synergy. - 1503740 01 изд. 2013. - С. 310
7. Паспорт - Система радиотерапевтическая медицинская Elekta с принадлежностями. - 94 4450 изд. - С. 28.
8. Руководство пользователя «Анализатор дозного поля Blue Phantom». - Шварценбрук, Германия: IBA Dosimetry GmbH Bahnhofstrasse , 2010. - С. 194.
9. User's Guide - FC65-G Ionization Chamber. – Schwazenbruck, Germany: IBA Dosimetry GmbH, 2013.
10. Руководство пользователя «DOSE 1». IN/OM 2068 (RUS) (5), 2009. - 71 с.
11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В.

Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

12. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181 – ФЗ.