

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика
 Отделение школы (НОЦ): Отделение информационных технологий

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка алгоритмического и программного обеспечения для дозиметрического планирования курсов лучевой нейтронной терапии онкологических заболеваний

УДК 004.421:004.415.2:615.849

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Калашников Игорь Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ	Шевелев Г.Е.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И.В.	к. э. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Матвиенко В.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ	Шевелев Г.Е.	к.ф.-м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные и математические знания для комплексной инженерной деятельности по созданию, внедрению и эксплуатации геоинформационных систем и технологий, а также информационных систем и технологий в бизнесе.
P2	Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения инженерных задач.
P3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с созданием геоинформационных систем и технологий, информационных систем в бизнесе, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей.
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по созданию информационных систем и технологий, а также средств их реализации (информационных, методических, математических, алгоритмических, технических и программных).
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретация полученных данных, в области создания геоинформационных систем и технологий, а также информационных систем и технологий в бизнесе.
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные геоинформационные системы и технологии, информационные системы и технологии в бизнесе, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья, безопасность труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
Универсальные компетенции	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности.
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом. Владеть иностранным языком (углубленный английский язык), позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций.
P10	Демонстрировать личную ответственность за результаты работы и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной и инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, а также готовность достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика
 Отделение школы (НОЦ): Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Шевелев Г.Е.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Б61	Калашникову Игорю Владимировичу

Тема работы:

Разработка алгоритмического и программного обеспечения для дозиметрического планирования курсов лучевой нейтронной терапии онкологических заболеваний.
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Работа направлена на разработку и программную реализацию алгоритма, предназначенного для дозиметрического планирования лучевой нейтронной терапии онкологических заболеваний.</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – обзор литературы, – исследование алгоритмов расчета доз и оценочных факторов, – сбор исходных данных, – разработка алгоритма. – разработка программного приложения, – тестирование и анализ результатов, – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, – социальная ответственность
Перечень графического материала	<i>Презентация в формате *.pptx</i>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Подопригора И.В., доцент ОСГН
Социальная ответственность	Матвиенко В.В., ассистент ООД
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Все разделы должны быть написаны на русском языке.	

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

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ	Шевелев Г.Е.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Калашников И.В.		

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

Студенту:

Группа		ФИО	
8Б61		Калашникову Игорю Владимировичу	
Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	01.03.02 Прикладная математика и информатика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. <i>Стоимость расходных материалов.</i> 2. <i>Стоимость расхода электроэнергии.</i> 3. <i>Норматив заработной платы.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	1. <i>Тариф на электроэнергию.</i> 2. <i>Коэффициенты для расчёта заработной платы.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. <i>Отчисления во внебюджетные фонды (30%)</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. <i>Потенциальные потребители результатов исследования.</i> 2. <i>Анализ конкурентных технических решений.</i> 3. <i>SWOT – анализ.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	1. <i>Разработка структуры работы в рамках научного исследования;</i> 2. <i>Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования;</i> 3. <i>Бюджет научно – технического исследования.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	1. <i>Определение показателей ресурсоэффективности разработки</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И.В.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Калашников Игорь Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
8Б61		Калашникову Игорю Владимировичу	
Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	01.03.02 Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

Разработка алгоритмического и программного обеспечения для дозиметрического планирования курсов лучевой нейтронной терапии онкологических заболеваний.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>В работе разрабатывается алгоритм для дозиметрического планирования курсов нейтронной терапии онкологических заболеваний. Область применения – медицина.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<i>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018); ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ; ГОСТ 21889-76; ГОСТ 22269-76; ГОСТ Р 50923-96; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;</i>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных факторов 2.2. Анализ выявленных опасных факторов	<i>Вредные и опасные факторы: - Недостаточная освещенность рабочей зоны; - Повышенный уровень шума на рабочем месте - Отклонение показателей микроклимата; - Повышенное значение напряжения в электрической цепи. - Монотонность труда - Опасность поражения электрическим током - Повышенный уровень ионизирующего излучения в рабочей зоне - Электромагнитное излучение высокой частоты (при работе ускорителей) - Повышенная концентрация радионуклидов на рабочих поверхностях и в воздухе рабочих помещений с открытыми источниками излучений - Повышенная концентрация токсических компонентов защитных материалов на рабочих поверхностях и в воздухе рабочих помещений. - Повышенная концентрация озона, окислов азота и от воздушных электрических разрядов в высоковольтных устройствах</i>

<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>При эксплуатации ЭВМ потребляется электроэнергия, вырабатываемая на электростанциях, сопровождаемая выбросами различных вредных веществ в окружающую среду. Конструкция ЭВМ содержит различные пластиковые и металлические элементы, которые в случае прихода в негодность должны быть соответствующим образом утилизированы или переданы на вторичную обработку. Рассмотрены решения по обеспечению экологической безопасности.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>– возможные ЧС – природные и техногенные, к которым можно отнести как сильный мороз, так и возможная диверсия; – типичная ЧС – пожар на рабочем месте.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Матвиенко В.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Б61	Калашников Игорь Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 89 _____ с., _____ 10 _____ рис., _____ 31 _____ табл., _____ 28 _____ источников, _____ 8 _____ прил.

Ключевые слова: алгоритм, программа, дозы, планирование, Matlab, нейтронная терапия, онкология, циклотрон, расчет

Объектом исследования является (ются) планирование _____ лучевой _____ нейтронной терапии онкологических заболеваний _____

Цель работы – разработка _____ и _____ реализация _____ алгоритма, _____ предназначенного для дозиметрического планирования _____ лучевой нейтронной _____ терапии онкологических заболеваний

В процессе исследования проводились сбор информации о работе _____ циклотрона, получаемых при обследовании данных, необходимых для _____ дозиметрического планирования курсов терапии, проектирование и разработка _____ алгоритмического и программного обеспечения.

В результате исследования была спроектирована и разработана _____ программа для дозиметрического планирования курсов лучевой нейтронной _____ терапии в среде Matlab.

Степень внедрения: программа почти готова к внедрению _____

Область применения: работа частных и государственных _____ онкологических клиник и больниц.

Экономическая эффективность/значимость работы была _____ рассчитана _____ стоимость ресурсов проведения исследования, описаны затраты на заработные _____ платы, отчисления, а также накладные расходы. Определена _____ ресурсосберегающая, бюджетная, финансовая, экономическая и социальная _____ эффективности проекта.

В будущем планируется расширение функционала, доработка и внедрение _____ новых алгоритмов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	12
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ.....	14
1.1 Источник быстрых нейтронов.....	14
1.2 Математическое описание дозиметрического планирования нейтронной терапии	16
1.3 Описание исходных данных для дозиметрического планирования	19
2 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	25
2.1 Составление алгоритма программы.....	25
2.2 Расчет относительной дозы в каждой точке.....	26
2.3 Расчет мониторных доз	26
2.4 Расчет суммарных доз на коже	27
2.5 Расчет доз в критических точках	27
2.6 Расчет ВДФ и ФЭД. Расчет ВДФ и ФЭД в зоне каждого поля.....	27
2.7 Расчет массива распределения поглощенной дозы нейтронов. Построение контурной карты среза с количеством распределенной дозы	28
2.8 Программная реализация	28
3 АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММЫ.....	29
3.1 Первый эксперимент.....	29
3.2 Второй эксперимент	31
3.3 Третий эксперимент.....	34
3.4 Выводы по работе программы	36
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	37
4.1 Организация и планирование работы	37

4.1.1	Продолжительность этапов работ	39
4.1.2	Разработка графика проведения научного исследования.....	41
4.2	SWOT-анализ	43
4.3	Анализ конкурентных решений	45
4.4	Потенциальные потребители результатов исследований.....	46
4.5	Расчет сметы затрат на выполнение проекта	47
4.5.1	Расчет заработной платы для исполнителей	47
4.5.2	Расчет затрат на социальный налог	48
4.5.3	Расчет затрат на электроэнергию	48
4.5.4	Расчет амортизационных расходов.....	49
4.5.5	Расчет прочих расходов	50
4.5.6	Расчет общей себестоимости разработки.....	50
4.5.7	Расчет прибыли	51
4.5.8	Расчет НДС.....	51
4.5.9	Цена разработки НИР	51
4.6	Оценка научно-технического эффекта	51
	Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	55
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	56
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	56
5.2	Производственная безопасность	59
5.3	Анализ выявленных опасных и вредных факторов	62
5.4	Экологическая безопасность.....	70
5.4.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	70
5.4.2	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	70
5.4.3	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	71
5.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	72

5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	72
5.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	72
5.5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	72
5.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	73
Заключение	74
Список использованной литературы.....	75
Приложение А. Блок-схема функции CALC	78
Приложение Б. Блок-схема расчета мониторинговых доз	79
Приложение В. Блок-схема расчета суммарных доз на коже.....	80
Приложение Г. Блок-схема расчета доз в критических точках.	81
Приложение Д. Блок-схема расчета массива распределения поглощенных доз нейтронов в процентах	82
Приложение Е. Блок-схема подготовки данных массива распределения поглощенных доз для построения контурной карты. Построение контурной карты.....	83
Приложение Ж. Функции CALC	84
Приложение И. Программный код реализации дозиметрического планирования.....	86

ВВЕДЕНИЕ

Первые исследования и лечение быстрыми нейтронами были проведены в США в 40-х годах XX века. Тогда данная терапия приводила к ряду тяжелых осложнений и повреждений тканей и кожи. Был сделан вывод о недопустимости проведения лечения путем нейтронной терапии, так как лечения достигалось ценой сильного повреждения тканей. Однако прекращение работ по нейтронной терапии не остановило исследования закономерностей, сопровождающих воздействие нейтронов на биологические объекты, - напротив: такие исследования вызвали особый интерес и продолжались с нарастающей интенсивностью [1].

С позиций, обеспеченных новыми знаниями о радиобиологическом воздействии нейтронов, был проведен ретроспективный анализ клинического материала, написанного американским ученым Р. Стоуном. Результаты анализа показали, что наблюдавшиеся лучевые повреждения нормальных тканей при нейтронной терапии явились следствием передозировки в результате применения заниженных значений относительной биологической эффективности (ОБЭ) нейтронов. Оказалось, что значение суммарной дозы на кожу после пересчета на стандартный режим фракционирования достигало 110 Гр вместо допустимых 60 Гр, что и объясняло появление лучевых повреждений в виде язв и некрозов кожи.

Тщательный анализ ошибок позволил внести важные коррективы при проведении новых клинических испытаний, которые были осуществлены в Англии в семидесятые годы XX-ого века. В госпитале Хаммерсмитта (Англия) был организован центр по исследованию нейтронной терапии, в котором в качестве источника нейтронов использовали циклотрон.

В Российской Федерации нейтронная терапия впервые была проведена в г. Томск на циклотроне У-120 НИИ ядерной физики при ТПУ и проводится и в наше время.

Ускорить и облегчить работу врачей и научных работников позволяют компьютеры и программы, предназначенные для исследований, расчетов, составления планов терапии и т.д.

Для дозиметрического планирования курсов нейтронной терапии в настоящее время используется устаревшее программное обеспечение (ПО), на котором возможно работать лишь на компьютерах старого поколения. Ввиду этого, появилась необходимость написания новой программы для компьютеров с операционными системами нового поколения, а также для повышения удобства работы с программой.

Для достижений данных целей была выбрана среда и язык технических расчетов Matlab. Данный пакет широко применяют на практике миллионы инженерных и научных работников, его можно установить на большинство современных операционных систем, таких как Linux, Mac OS, Solaris и Windows. Данный пакет удобен в использовании и может решать научные задачи любой сложности.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ

1.1 Источник быстрых нейтронов

Нейтронную терапию проводят с помощью генераторов или циклотронов, способных создавать в ткани мощность поглощенной дозы не менее 0.1 Гр/мин при РИП до 1 м.

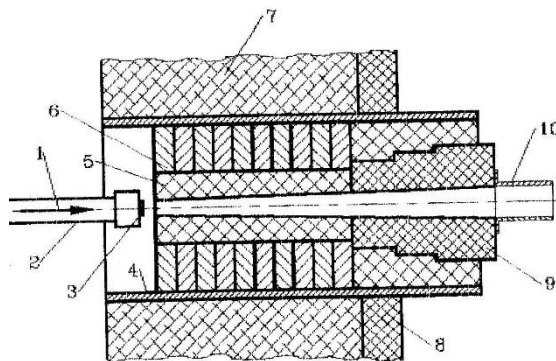


Рис 1.1. Устройство для формирования нейтронных полей облучения (1 - пучок дейтронов, 2 - ионопровод, 3 - мишень, 4 - стальная труба, 5 - полиэтиленовый коллиматор, 6 - стальные диски, 7 - бетонная стена, 8 - полиэтиленовая защита, 9 - полиэтиленовые вставки, 10 - тубус).

На рисунке 1.1 изображено устройство, поясняющее нейтронный канал. Пучок нейтронов формируют с помощью специального коллиматора, который заключен в стальную трубу. Мишень расположена со стороны машинного зала в бетонной стене, разделяющей зал циклотрона и процедурное помещение. Генерируемый терапевтический нейтронный пучок направлен горизонтально.

Заменяемые вставки дают возможность формировать в коллиматоре прямоугольные поля с размерами от $6 \times 6 \text{ см}^2$ до $15 \times 15 \text{ см}^2$ [2].

Для проведения нейтронной терапии необходимо провести дозиметрические исследования, в ходе которых проводят совмещение продольной радиационной оси и продольной геометрической оси коллиматора, также с ними совмещают луч лазера, служащего для точной установки детекторов в поле излучения.

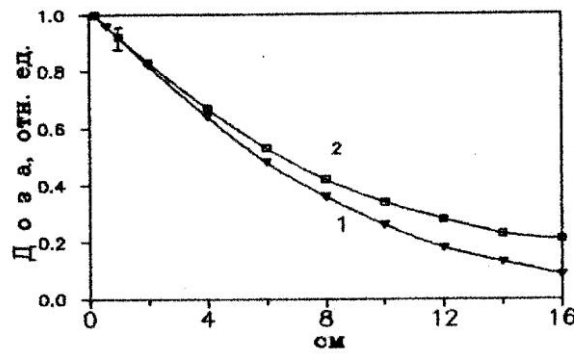


Рис. 1.2. Распределение дозы нейтронов по глубине облучаемой ткани.

После юстировки пучка исследуют распределение поглощенной дозы нейтронов в тканезквивалентном фантоме.

На рисунке 1.2 можно наблюдать как зависит глубина распределения поглощенной дозы нейтронов от поля облучения. Первая кривая соответствует полю $6 \times 8 \text{ см}^2$, второе – $15 \times 15 \text{ см}^2$.

С помощью ионизационной камеры, стенки которой изготовлены из полимерного материала толщиной приблизительно 0.02 мм, измеряется распределение поглощенной дозы нейтронов.

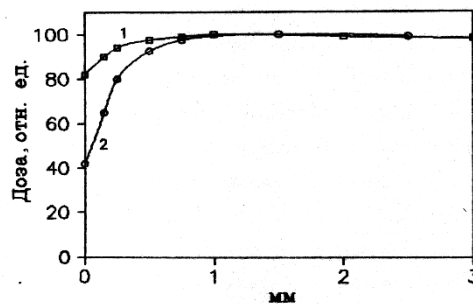


Рис 1.3. Распределение поглощенной дозы нейтронов на входе в ткань.

На рисунке 1.3 изображены полученные экспериментально графики поглощенной дозы нейтронов на входе в ткань. Первая кривая получена при расстоянии 0 см от облучаемого слоя, вторая кривая на расстоянии 14 см. Как можно наблюдать, распределения на входе сильно отличаются. Это можно объяснить тем, что вклад вторичных заряженных частиц меньше. Поэтому для создания более благоприятных условий для терапии стоит увеличивать расстояние между коллиматором и поверхностью, подвергаемую облучению[2].

1.2 Математическое описание дозиметрического планирования нейтронной терапии

При разработке компьютерных программ дозиметрического планирования нейтронной терапии необходимо иметь математическое описание распределений поглощенной дозы нейтронов в тканезквивалентной среде [7].

Для описания дозного распределения было получено следующее эмпирическое выражение:

$$D(x, S) = D_m \exp[-(3.08 \times 10^{-3} x + 0.107)(|x - 0.2|)] + 4.4 \times 10^{-3} (S - 48)x, \quad (1)$$

где D_m и $D(x)$ – поглощенная доза нейтронов в ткани в максимуме распределения и на глубине x . Где S – площадь поля облучения [3].

Выражение для описания распределения дозы нейтронов в направлении оси «у» при нормальном падении пучка на облучаемую поверхность может быть представлено в виде:

$$D(x, y) = \frac{1}{1 + \left(\frac{2|y|}{S}\right)^h}, \quad (2)$$

где
$$h = -2.2 / \ln\left[1 - \frac{P_0(1 + 7.5 \times 10^{-2} x)}{S}\right]. \quad (3)$$

Здесь P_0 – полутень пучка соответственно на входе его в облучаемую ткань. При расчете распределения дозы при необходимости учитывают косое падение нейтронного пучка на облучаемую поверхность. При этом используют известное приближение, согласно которому наклон облучаемой поверхности на угол β по отношению к ее нормальному положению вызывает наклон плоской части изодозных линий на угол $\beta_1 \approx 2\beta/3$ [6].

Ранее не было способов для определения параметров, необходимых для проведения лучевой терапии, которые бы обеспечивали выполнение вышеуказанных требований. Такое положение было связано с тем, что был

недостаток сведений, связанный с реакциями тканей на разное радиационное воздействие. В настоящее время существует только один эффективный способ планирования, который основывается на эмпирической формуле Эллиса-Фильда:

$$D_{c,n} = 10^{-2} \times NSD_n \times T^{0.11} \times N^{0.04}. \quad (4)$$

Здесь $D_{c,n}$ – суммарная доза нейтронов, получаемая за весь курс терапии, Гр; T – длительность курса терапии, сутки; N – число сеансов терапии; NSD_n – номинальная стандартная доза. Именно такое значение NSD было положено в основу организации курсов нейтронной терапии в Хаммерсмитте, где был накоплен значительный опыт применения быстрых нейтронов в терапии злокачественных опухолей. Номинальная стандартная доза является безразмерной величиной [3].

Наибольшее распространение при планировании нейтронной терапии получила модификация формулы Эллиса – Фильда, называемая моделью время – доза – фракционирование (ВДФ). Формулу для фактора ВДФ можно получить следующим путем.

Формула суммарной дозы нейтронов за весь курс терапии:

$$D_{c,n} = D_n \times N, \quad (5)$$

где D_n - однократная доза облучения.

Длительность курса определяем по следующему соотношению:

$$T = H \times N, \quad (6)$$

где H – средний временной интервал между сеансами терапии в сутках. Если соотношения (5) и (6) в представленном виде подставить в формулу (4) то можно выразить N в явном виде:

$$N = \left[\frac{NSD_n H^{0.11}}{100 D_n} \right]^{1.18} \quad (7)$$

Частичная толерантность (ЧТ) позволяет охарактеризовать степень использования полной толерантности нормальной ткани на разных этапах проводимого курса нейтронной терапии. ЧТ определяют по формуле:

$$ЧТ = NSD_n \frac{m}{N}, \quad (8)$$

где N – число фракций, при котором полностью используется толерантность нормальной ткани, а m - число реализованных фракций.

Если в раннее найденное выражение (7) подставить в формулу (8), то можно получить соотношение для ЧТ следующего вида [4]:

$$ЧТ = 229 \times NSD_n^{-0.18} \times m \times D_n^{1.18} \times H^{-0.13}. \quad (9)$$

Величину

$$ВДФ = gmD_n^{1.18} H^{-0.13} \quad (10)$$

называют фактором время-доза-фракционирование (ВДФ). С помощью данного количественного фактора можно провести оценку эффекта облучения по критерию предельной толерантности. Эта модель позволяет сравнивать различные режимы фракционирования дозы, рассчитывать изоэффективные дозы для различных режимов, по критерию возникновения осложнений делать корректировку, а также позволяет учесть перерывы в облучении. По сути, с помощью ВДФ можно произвести дозиметрическое планирование всей терапии, рассчитать время облучение, а также мощность дозы. В следствии чего, лечения будет проходить с меньшей частотой осложнений [8].

В выражении (10) коэффициент g – это нормировочный множитель, Обычно в гамма-терапии уровень полной толерантности берут равное 100, что позволяет провести курс, с параметрами: $D = 60$ Гр; $T = 40$ сут; $N = 30$.

Гамма и нейтронная терапия эквивалентны друг другу при разных значения NSD. Так если в выражение (10) подставить следующие значения: $T = 28$ суток; $N = 12$; $D = 1,3$ Гр с $NSD_n = 978$ при средней энергии нейтронов 6,3 МэВ, мы найдем коэффициент g . Тогда выражение для фактора ВДФ, использующийся для нейтронной терапии на циклотроне У-120 будет иметь вид:

$$ВДФ = 6,8mD_n^{1.18} H^{-0.13}. \quad (11)$$

Если в ходе терапии были вынужденные перерывы, а также аритмичность, то следует записать формулу (11) в другом виде, которая учитывает данный недостаток:

$$ВДФ = 6,8 \sum_{i=1}^m D_{n,i}^{1,18} \times H_i^{-0,13} . \quad (12)$$

Планирование нейтронной терапии на основе фактора ВДФ, определяемого (12), выявило необходимость введения поправочного коэффициента на укрупнение однократной очаговой дозы. Введение такой поправки приводит к следующему выражению для фактора ВДФ [2]:

$$ВДФ = 6,8 \sum_{i=1}^m [(7,8 \times 10^{-2} \times D_{n,i} + 0,96) D_{n,i}]^{1,18} \times H_i^{-0,13} . \quad (13)$$

Смысл выражений (11) – (13) состоит в том, что разрешаются любые режимы фракционирования дозы нейтронов, для которых выполняется условие: $ВДФ \leq 100$ ед [8].

При определенном приближении между однократной дозой и ВДФ есть соотношение:

$$ВДФ = 1,2D^{1,158} \quad (14)$$

Фотонэквивалентную дозу (суммарная доза стандартного режима) определяют из соотношения (14):

$$ФЭД = 0,6ВДФ \quad (15)$$

1.3 Описание исходных данных для дозиметрического планирования

1. Выбор числа полей (N) и направлений облучения.

Для снижения лучевой нагрузки на кожу в нейтронной также, как и в гамма-терапии, применяют многопольное облучение. Как правило, выбирают от двух до четырех полей. Оси пучков излучения проходят, как правило, через центр опухоли. Выбор направлений и точек входа пучков в тело производят, согласуя два противоречивых требования. С одной стороны, расстояние между центром опухоли и точкой входа пучка в тело должно быть минимальным, а с другой – поля облучения с различных направлений должны быть разнесены так,

чтобы не образовывалась зона повышенного облучения здоровых тканей вне опухоли. В реальной ситуации окончательный выбор оптимальных направлений облучения может быть осуществлен только после анализа результатов предварительного расчета.

2. Число сеансов облучения с каждого поля (К).

При выбранном ранее значении N можно *предварительно* определить число сеансов облучения с каждого поля при условии, что $K_1 = K_2 = \dots = K_N$. Если при выбранном N указанное условие невыполнимо, сохраняя общее число сеансов равным 12, большее число сеансов планируют, как правило, с полей, для которых расстояние от точки входа пучка в тело до центра опухоли меньше. Более точное определение K_1, K_2, \dots, K_N проводят на основе анализа расчета, используя критерий равенства поглощенных доз на коже для всех полей облучения.

3. Площадь поля облучения на входе пучка в тело.

Для оценки площади поля необходимо знать размер опухоли. У каждого пациента размеры опухолевого очага индивидуальны, поэтому значения следует брать после анализа пациента.

4. Ширина поля облучения – это размер радиационного поля облучения на входе пучка в тело в плоскости топографо-анатомической карты.

Правильный выбор ширины поля способствует равномерному облучению опухоли. Из-за рассеяния нейтронов ширина радиационного поля по мере проникновения пучка в ткань изменяется. Поэтому на первом этапе ширину поля выбирают приблизительно равной размеру опухоли в направлении, перпендикулярном оси пучка излучения. В общем случае при многопольном облучении размеры полей для различных направлений облучения могут быть различны.

5. Углы падения пучков на тело.

Для определения угла падения пучка на тело в зоне каждого поля облучения, необходимо через точку входа центрального луча в тело провести линию, перпендикулярную центральному лучу, и линию, касательную к контуру тела. При этом перпендикуляр к центральному лучу, проведенный через точку входа центрального луча в тело, образует ось ординат, а центральная ось пучка – ось абсцисс дополнительной системы координат. Направление центрального луча является положительным направлением оси абсцисс дополнительной системы координат.

Очевидно, что число дополнительных систем координат равно числу полей **N**. Каждая дополнительная система координат служит для проведения расчета распределения поглощенной дозы для соответствующего ей пучка излучения. Затем топографо-анатомическую карту располагают перед собой так, чтобы центральный луч пучка излучения (положительное направление оси абсцисс дополнительной системы координат) был направлен вправо по отношению к наблюдателю. Угол падения пучка на тело будет равен углу, образованному положительным направлением оси ординат дополнительной системы и касательной к контуру. Отсчет угла в градусах необходимо производить от положительного направления оси ординат дополнительной системы. Угол будет положительным, если его отсчет производится по часовой стрелке и отрицательным, если отсчет произведен против часовой стрелки. Наиболее вероятное значение угла падения заключено в пределах от 45° до (-45°) .

6. Координаты точек входа пучков в тело.

После того, как произведен выбор числа полей и направлений облучения, топографо-анатомическую карту помещают в декартову систему координат так, чтобы все точки входа пучков излучения в тело находились в ее первом квадранте. Направления осей координат выбирают так, чтобы ось «**Y**» была параллельна оси симметрии контура тела пациента. Для всех полей облучения определяют координаты (**X** и **Y**) точек входа пучков излучения в тело.

7. Положение терапевтических пучков в пространстве.

Поскольку облучение пациента ведется с нескольких направлений, для проведения расчета необходимо задать пространственное положение каждого пучка относительно тела пациента. В данном случае пространственное положение пучков задается углом поворота дополнительной системы координат, связанной с соответствующим пучком излучения, относительно основной системы координат. Отсчет угла поворота дополнительной системы координат относительно основной производится от положительного направления оси абсцисс основной системы до положительного направления оси абсцисс дополнительной системы координат. Отсчет ведется против часовой стрелки. Значения углов всегда положительны и лежат в пределах от 0° до 360° .

8. Координаты центра опухоли.

Центр опухоли – это точка, к которой подводится планируемая суммарная очаговая доза. Как правило, эта точка соответствует геометрическому центру заданного контура опухоли. Однако в отдельных случаях для достижения более равномерного распределения дозы в области опухоли точку, к которой подводят суммарную дозу, не идентифицируют с геометрическим центром опухоли. По этой причине положение точки, к которой подводят заданную дозу, может быть скорректировано в результате анализа результатов расчета для варианта, соответствующего совпадению указанных точек.

9. Однократная очаговая доза (DOD).

Однократную очаговую дозу задают, как правило, равной $1 \text{ Гр} \leq D \leq 2, 4 \text{ Гр}$.

10. Суммарная очаговая доза (SOD)

Суммарную очаговую дозу выбирают как правило из условия $SOD \leq 15,6 \text{ Гр}$.

11. Расстояние источник – облучаемая поверхность (РИП).

В статическом режиме облучение проводят при постоянном для всех направлений облучения РИП. В соответствии с техническими условиями,

имеющими место на циклотроне, рекомендуемое значение РИП выбирают из условия: $80 \text{ см} \leq \text{РИП} \leq 120 \text{ см}$. Как правило, $\text{РИП} = 110 \text{ см}$.

12. Коэффициент монитора.

Как известно, в гамма-терапии продолжительность сеанса облучения контролируют по времени. Это возможно, так как мощность дозы гамма-аппаратов, где источником излучения является радионуклид ^{60}Co , практически не изменяется в течение сеанса терапии. В нейтронной терапии, где источником излучения является ускоритель, ситуация иная: мощность дозы в терапевтическом пучке нейтронов из-за нестабильности в различных системах управления циклотроном может изменяться во времени. Поэтому контроль за продолжительностью сеанса терапии ведут с помощью дозиметра-монитора (свидетеля), ионизационная камера которого установлена на периферии нейтронного пучка. Доза, которую должен набрать дозиметр-монитор за сеанс терапии, определяется по соотношению:

$$D_m = K_m D_{\text{п}} \quad (16)$$

где $D_{\text{п}}$ – доза на входе пучка нейтронов в облучаемую ткань; K_m – коэффициент монитора, который определяют экспериментально при подготовке терапевтического канала к работе.

Значение коэффициента K_m , которое следует ввести для расчета в компьютер, зависит от площади поля облучения. Значения коэффициента при различных площадях поля приведены в таблице:

Таблица 1. Значения коэффициента от площади поля

$S, \text{ см}^2$	10×10	6×8	6×6
K_m	2,3	2,1	2

13. Границы рассчитываемого дозового поля.

Программа моделирования обеспечивает расчет суммарного распределения поглощенной дозы, создаваемого при облучении со всех выбранных полей. Расчет массива доз производится в пределах некоторого

заданного поля. Границы поля выбирают так, чтобы в них попадали зоны тела больного, в которых распределение поглощенной дозы представляет наибольший интерес. Это, прежде всего, область опухолевого очага и прилегающие области жизненно важных органов. Размер рассчитываемого дозового поля по оси X рекомендуется выбирать не более 16 см, а по оси Y – не более 17 см. В приведенной выше таблице, которую необходимо заполнить при подготовке информации для расчета, обозначено: XN - левая граница поля (X начальное); XK – правая граница поля (X конечное); YN – нижняя граница поля (Y нижнее); YW – верхняя граница поля (Y верхнее). В результате моделирования дозовое распределение в пределах выбранного поля будет представлено в виде изодозных линий [2].

14. Число и координаты критических точек.

Часто в жизненно важных тканях и органах (критических) недостаточно иметь информацию в виде изодозных линий, а необходимо знать точное значение дозы. С этой целью на этапе дозиметрического планирования на топографо-анатомической карте задают критические точки, в которых необходимо знать точное значение дозы. Число таких точек может быть не более 6. В качестве органов и тканей, для которых такая информация необходима, могут быть мозг, сердечная мышца, глаз и т. д. Критические точки могут лежать как в заданных выше границах рассчитываемого дозового поля, так и за его пределами.

2 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

2.1 Составление алгоритма программы

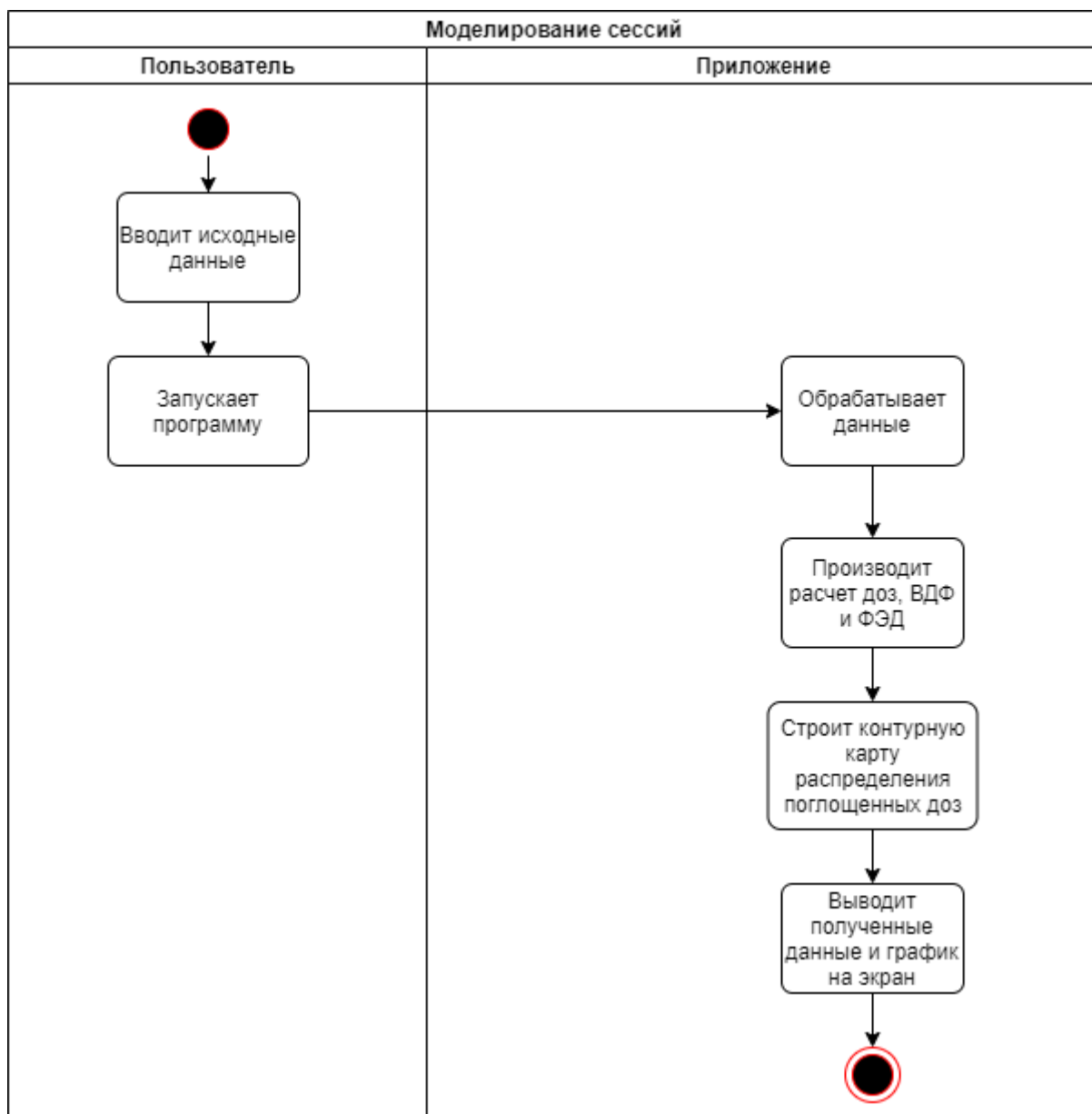


Рис. 2.1. Моделирование сессий

Программа должна позволять пользователю вводить и редактировать исходные данные. Так как данная область исследования требует постоянной корректировки данных, и учитывая, что код пишется внутри математического пакета, и расчет и запуск программы производится внутри Matlab, то было принято решение оставить ввод данных внутри самого кода. Данное решение не

доставит трудностей пользователю, ввиду того, что все данные подписаны, и в случае необходимости изменения кода, не составит труда добавить или убрать новые данные.

Далее используя исходные данные, программа должна выполнять следующее:

- Расчет мониторных доз
- Расчет суммарных доз на коже
- Расчет доз в критических точках
- Расчет ВДФ и ФЭД
- Расчет ВДФ и ФЭД в зоне каждого поля
- Расчет массива распределения поглощенной дозы нейтронов
- Производить построение контурной карты с процентным количеством распределения дозы

2.2 Расчет относительной дозы в каждой точке

Расчет относительной дозы в каждой точке используется для расчетов суммарных доз на коже, доз в критических точках, а также для расчета поглощенных доз нейтронов. Для каждого случая вводится своя функция «CALC». Общая структура данной функции остается неизменной – это расчет выражения для описания распределения поглощенной дозы нейтронов в направлении V (2) и поглощенной дозы нейтронов (1), соответственно. Изменяются направление, а также координаты объекта от которого идет расчет. Это может быть критическая точка, центр опухоли или входа луча в тело.

Относительная доза на коже находится отношением (1) к (2).

Блок-схема функции представлена в Приложении А.

2.3 Расчет мониторных доз

Расчет мониторных доз проводится по формуле (16). Значение коэффициента монитор-поле пользователь задает сам исходя из размеров поля. Для расчета мониторных доз необходимо посчитать относительную дозу в каждой точке с использованием функции CALC. Далее считается доза, которую

набирает ионизационная камера на коже. После этого зная РИП считается доза монитора при облучении i -го поля. Блок-схему алгоритма представлена в Приложении Б.

Из найденных мониторных доз считается коэффициент монитора для каждого поля облучения по формуле:

$$P_i = \frac{Dm_i}{Dm_1} \quad (17)$$

2.4 Расчет суммарных доз на коже

Для расчета суммарных доз на коже в функцию CALC подставляются x и y координаты входа i -го пучка в тело. Необходимо заранее посчитать суммарную и однократную поглощенные дозы со всех полей облучения на коже, а также коэффициенты монитора для каждого поля (17).

Тогда формула суммарных доз на коже i -го поля будет находиться:

$$Dsk_i = \frac{\frac{D(x,S)}{D(x,y)} * Dsod * K_i * P_i}{D_{sop}}, \quad (18)$$

где K_i – число сеансов i -го поля, P_i – коэффициент монитора i -го поля, $Dsod$ – суммарная очаговая доза, D_{sop} – суммарная поглощенная доза со всех полей облучения на коже.

Блок-схему алгоритма представлена в Приложении В.

2.5 Расчет доз в критических точках

Расчет доз в критических точках проводится по тому же принципу, что и суммарных доз на коже. В функцию CALC подставляются x и y координаты критических точек. Формула расчета используется, как и в случае с расчетом суммарных доз на коже – (18). Циклы в данном случае идут для каждой критической точки, то есть от 1 до N_{kr} , где N_{kr} – количество критических точек.

2.6 Расчет ВДФ и ФЭД. Расчет ВДФ и ФЭД в зоне каждого поля

Расчет ВДФ и ФЭД в программе проводится по формулам (13) и (15). ВДФ и ФЭД в зоне каждого поля рассчитывается после расчета суммарных доз на коже. Так как в формуле (13) используется однократная очаговая доза, то для

расчета в зоне каждого поля стоит разделить суммарную дозу на коже на число сеансов, чтобы получить однократную дозу на коже и подставить ее в формулу.

2.7 Расчет массива распределения поглощенной дозы нейтронов.

Построение контурной карты среза с количеством распределенной дозы

Расчет массива распределения поглощенной дозы нейтронов проводится для построения контурной карты с количеством распределенной дозы. Для расчета массива используется все тот же алгоритм через функцию CALC, но не проводится умножение на D_{sod} и деление на D_{sop} , как в случае (18). Из полученного массива находится максимальное значение, и весь массив переводится в проценты от максимального. Далее проценты десятками переводят в упрощенный вид, для построения и наглядности картинки. Таким образом полученные значения будут иметь следующий вид: от 0 до 9 % - значение 0, от 10 до 19 % – значение 1, от 20 до 29 % – 2, и т.д.

Исходные данные задаются в масштабе 1:1 см, для плавности картинки мы увеличиваем количество итераций, путем перевода сантиметров в миллиметры, увеличивая количество точек, в которых будет посчитана доза в 10 раз. Так же, все исходные данные задаются в первом квадранте (x и y положительные), но значения дозы могут выйти за пределы квадранта и могут не отобразиться, так что для захвата всего распределения стоит увеличивать границы рассчитываемого поля в таком случае.

2.8 Программная реализация

Программный код был написан в математическом пакете Matlab. Данная среда была выбрана для этой работы из-за надежности при обработке данных, простоты синтаксиса и прямой связи с языками C и C++. Единственный существенный минус – нет возможности сделать пользовательский интерфейс, что опять же компенсируется простотой в использовании через программный код.

Код программы представлен в Приложениях Ж-И.

3 АПРОБАЦИЯ ПРОГРАММЫ

3.1 Первый эксперимент

Берем два поля облучения ($N = 2$):

Таблица 2. Исходные данные для первого эксперимента

Наименование	Значения	
	Поле А	Поле Б
Число сеансов i -го поля	6	6
Площадь i -го поля, см^2	48	48
Ширина i -го поля, см	6	6
Угол падения i -го луча на тело, град	-10	0
x -координаты входа i -го луча в тело	5	14
y -координаты входа i -го луча в тело	11	12
Угол поворота i -й системы координат, град	0	90
Коэффициент монитор/поле	2.1	2.1

Таблица 3. Общие исходные данные первого эксперимента

Наименование	Значения
Однократная очаговая доза, Гр	1.2
Суммарная очаговая доза, Гр	7.21
Координата x центра опухоли	7
Координата y центра опухоли	11
РИП, см	110
Длительность курса, сут	28

Предположим, что количество критических точек равно двум ($N_{kr} = 2$):

Таблица 4. Координаты критических точек для первого эксперимента

Наименования	Значения	
	Точки А	Точки Б
x -координата критической точки	5	8.5
y -координата критической точки	9	12

Таблица 5. Границы рассчитываемого поля первого эксперимента

Наименование	Значения	
	Точка левого нижнего края	Точка правого верхнего края
х-координаты границ рассчитываемого поля	-10	25
у-координаты границ рассчитываемого поля	-10	25

Результат работы программы:

```

Доза монитора при облучении i-го поля:
 154.4654 137.5993

Фонтоэквивалентная доза (ФЭД):
 25.8485

Время—доза—фракционирование (ВДф):
 43.0808

Предельное значение ВДф:
 125.2240

Суммарная доза на коже в зоне i-го поля:
 7.9309 5.2040

ВДф в зоне каждого поля:
 59.0595 34.3235

ФЭД в зоне каждого поля:
 35.4357 20.5941

Доза в критических точка:
 6.7858 3.1347
    
```

Рис. 3.1. Результат работы программы

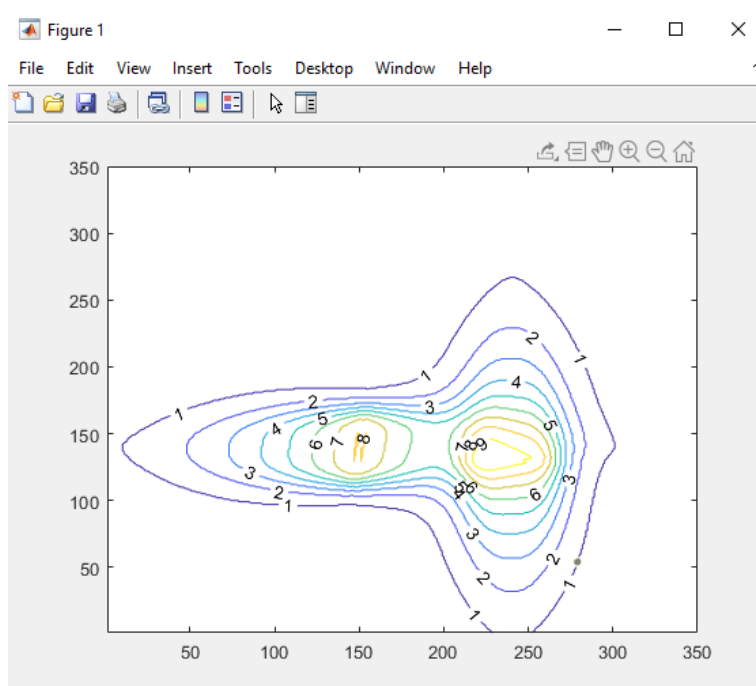


Рис. 3.2. Построение контурной карты с количеством распределенной дозы

3.2 Второй эксперимент

Берем два поля облучения ($N = 2$):

Таблица 6. Исходные данные для второго эксперимента

Наименование	Значения	
	Поле А	Поле Б
Число сеансов i -го поля	6	6
Площадь i -го поля, см^2	36	36
Ширина i -го поля, см	6	6
Угол падения i -го луча на тело, град	0	-10
x -координаты входа i -го луча в тело	7	8
y -координаты входа i -го луча в тело	5	10
Угол поворота i -й системы координат, град	0	90
Коэффициент монитор/поле	2	2

Таблица 7. Общие исходные данные второго эксперимента

Наименование	Значения
Однократная очаговая доза, Гр	1.3
Суммарная очаговая доза, Гр	7.21
Координата x центра опухоли	6
Координата y центра опухоли	8
РИП, см	110
Длительность курса, сут	28

Предположим, что количество критических точек равно двум ($N_{kr} = 2$):

Таблица 8. Координаты критических точек второго эксперимента

Наименования	Значения	
	Точки А	Точки Б
x-координата критической точки	5	12
y-координата критической точки	9	14

Таблица 9. Границы рассчитываемого поля для второго эксперимента

Наименование	Значения	
	Точка левого нижнего края	Точка правого верхнего края
x-координаты границ рассчитываемого поля	-10	25
y-координаты границ рассчитываемого поля	-10	20

Результат работы программы:

Доза монитора при облучении i-го поля:
142.0494 159.5756

Фонтонзвивалентная доза (ФЭД) :
25.9541

Время—доза—фракционирование (ВДФ) :
43.2569

Предельное значение ВДФ:
136.5115

Суммарная доза на коже в зоне i-го поля:
7.8617 7.8924

ВДФ в зоне каждого поля:
59.1739 59.4796

ФЭД в зоне каждого поля:
35.5043 35.6877

Доза в критических точка:
1.4540 1.2714

Рис. 3.3. Результат работы программы.

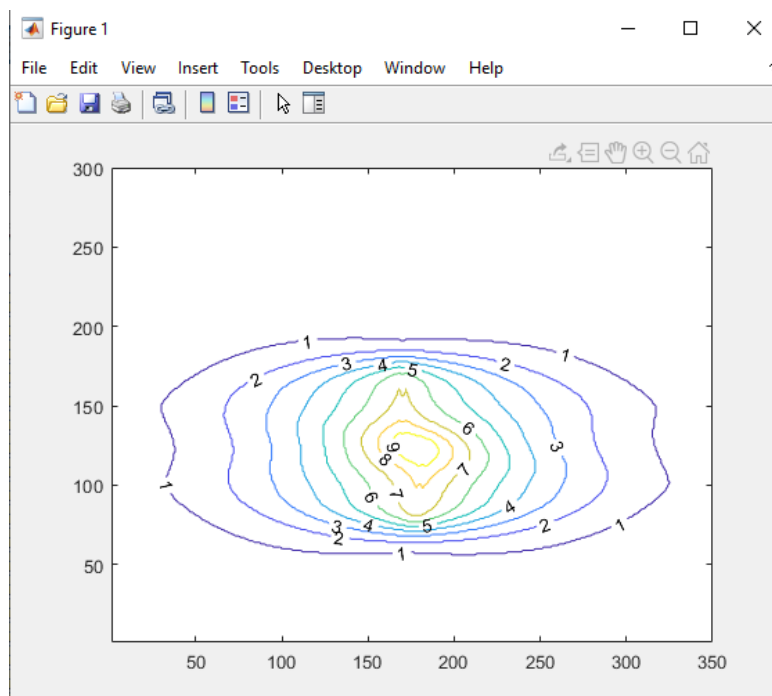


Рис. 3.4. Построение контурной карты с количеством распределенной дозы.

3.3 Третий эксперимент

Берем два поля облучения ($N = 3$):

Таблица 10. Исходные данные для третьего эксперимента

Наименование	Значения		
	Поле А	Поле Б	Поле В
Число сеансов i -го поля	6	6	6
Площадь i -го поля, см^2	48	48	48
Ширина i -го поля, см	6	6	6
Угол падения i -го луча на тело, град	0	-10	-30
х-координаты входа i -го луча в тело	7	8	14
у-координаты входа i -го луча в тело	5	10	17
Угол поворота i -й системы координат, град	0	180	90
Коэффициент монитор/поле	2.1	2.1	2.1

Таблица 11. Общие исходные данные для третьего эксперимента

Наименование	Значения
Однократная очаговая доза, Гр	1.3
Суммарная очаговая доза, Гр	8.11
Координата х центра опухоли	10
Координата у центра опухоли	13
РИП, см	110
Длительность курса, сут	28

Предположим, что количество критических точек равно двум ($N_{kr} = 3$):

Таблица 12. Координаты критических точек третьего эксперимента

Наименования	Значения		
	Точки А	Точки Б	Точка В
х-координата критической точки	7	13	20
у-координата критической точки	15	7	9

Таблица 13. Границы рассчитываемого поля

Наименование	Значения	
	Точка левого нижнего края	Точка правого верхнего края
х-координаты границ рассчитываемого поля	-15	25
у-координаты границ рассчитываемого поля	-15	30

Результат работы программы:

Доза монитора при облучении i-го поля:

126.0062 111.5583 143.2048

Фонтоэквивалентная доза (ФЭД) :

29.9291

Время—доза—фракционирование (ВДФ) :

49.8819

Предельное значение ВДФ:

125.2240

Суммарная доза на коже в зоне i-го поля:

7.4769 8.4464 7.3264

ВДФ в зоне каждого поля:

54.3825 63.7696 52.9661

ФЭД в зоне каждого поля:

32.6295 38.2617 31.7797

Доза в критических точка:

3.4809 2.0772 0.3344

Рис. 3.5. Результат работы программы.

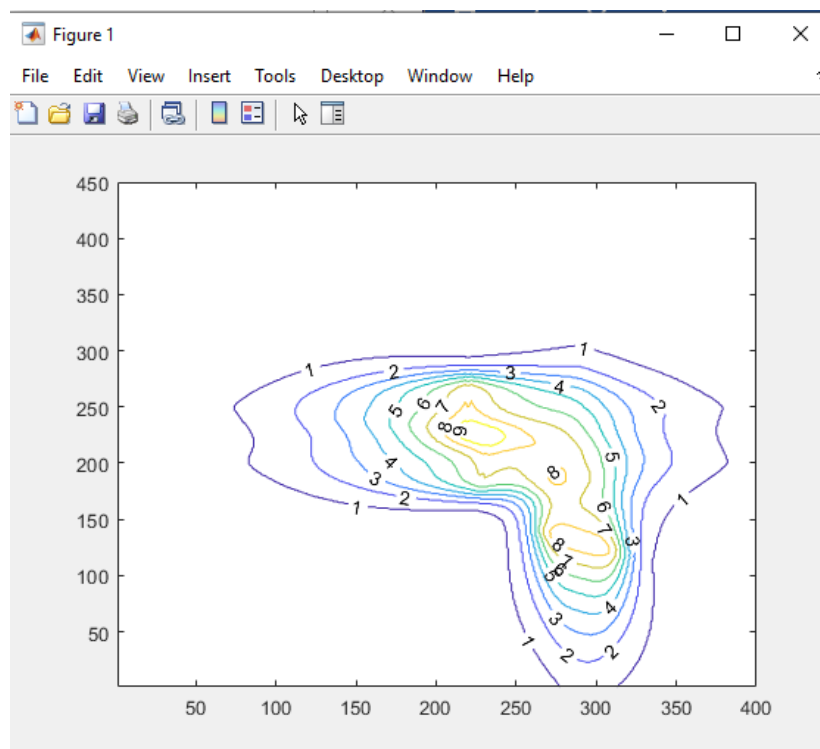


Рис. 3.6. Построение контурной карты с количеством распределенной дозы.

3.4 Выводы по работе программы

В пунктах 3.1-3.3 представлены три разных эксперимента работы программы. Как видно из полученных результатов, для каждого определенного случая можно провести дозиметрическое планирование лучевой терапии, подобрать оптимальные очаговые дозы, место и поле облучения для минимизации осложнений и сильных поражений здоровых тканей и органов. Можно посмотреть на контурной карте как пройдет распределение поглощенной дозы по поверхности облучения.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Выполнение грамотной научно-исследовательской работы требует наличия экономической оценки всех её элементов: как объекта исследования, так и методов, которые для этого используются. Таким образом, целью данного раздела является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов алгоритма для дозиметрического планирования нейтронной терапии онкологических заболеваний. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести SWOT-анализ;
- определить эффективность исследования
- провести планирование научно-исследовательской работы;
- произвести расчёт бюджета научно-исследовательской работы;
- составить оценку научно-технического эффекта.

4.1 Организация и планирование работы

При организации процесса реализации данного исследования необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Так как число исполнителей редко превышает двух в большинстве случаев, то для наглядного результата чаще пользуются линейным графиком. Для построения такого графика приведем в таблице – 8 перечень работ и занятость исполнителей.

Таблица 14. Перечень работ и продолжительность их выполнения

№ Этапа	Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель	НР – 100%
2	Составление и утверждение ТЗ	Научный руководитель, студент	НР – 100% С – 10%
3	Подбор и изучение материалов по тематике	Научный руководитель, студент	НР – 50% С – 100%
4	Разработка календарного плана	Научный руководитель, студент	НР – 100% С – 10%
5	Обсуждение литературы	Научный руководитель, студент	НР – 30% С – 100%
6	Написание программы	Студент	С – 100%
7	Тестирование программы	Студент	С – 100%
8	Оформление расчетно-пояснительной записки	Студент	С – 100%
9	Оформление графического материала	Студент	С – 100%
10	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент	НР – 60% С – 100%

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (19)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 8 работ, требуется группа специалистов из следующего состава:

- Студент (С), соискатель степени бакалавра;
- Научный руководитель (НР).

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{рд}$, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Так, для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{рд}$ ведется по формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{д}, \quad (20)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель). Возьмем значение $K_{Д} = 1$.

Продолжительность этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе представлена в таблице – 15.

Таблица 15. Временные показатели проведения научного исследования

№ Этапа	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ, дни			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	С	НР	С
1	Научный руководитель	1	2	1,6	1,6	-	1,92	-
2	Научный руководитель, студент	5	10	7	7	0,7	8,4	0,84
3	Научный руководитель, студент	10	15	12	6	12	7,2	14,4
4	Научный руководитель, студент	5	10	7	7	0,7	8,4	0,84
5	Научный руководитель, студент	1	2	1,6	1,6	0,48	1,92	0,58
6	Студент	15	20	17	-	17	-	20,4
7	Студент	3	5	3,8	-	3,8	-	4,56
8	Студент	10	20	14	-	14	-	16,8
9	Студент	1	2	1,6	-	1,6	-	1,92
10	Научный руководитель, студент	5	10	7	4,2	7	5,04	8,4
Итого:				72,6	27,4	57,28	32,88	68,74

4.1.2 Разработка графика проведения научного исследования

Выполнение ВКР является небольшим по объему исследованием, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Так, построим ленточный график. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}, \quad (21)$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, который определяется по следующей формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (22)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$ для при шестидневной рабочей недели);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 10$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,20.$$

Таким образом, коэффициент календарности $T_{\text{К}}$ равен 1,20.

Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{\text{КД}}$ (данные столбцов 8 и 9 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта.

Пример построения линейного графика приведен в таблице – 16.

Таблица 16. Линейный график работ

Этап	Вид работ	НР	С	Продолжительность выполнения работ											
				март			апрель			май					
				10	20	30	10	20	30	10	20	30			
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	1,92	-	■											
2	Составление и утверждение ТЗ	8,4	0,84	■	■										
3	Подбор и изучение материалов по тематике	7,2	14,4		■	■									
4	Разработка календарного плана	8,4	0,84			■	■								
5	Обсуждение литературы	1,92	0,58				■	■							
6	Написание программы	-	20,4					■	■	■					
7	Тестирование программы	-	4,56								■				
8	Оформление расчетно-пояснительной записки	-	16,8								■	■	■		
9	Оформление графического материала	-	1,92											■	

Продолжение таблицы 17.

Возможности	Направление развития:	Сдерживающие факторы:
<p>В1. Дополнение новым функционалом.</p> <p>В2. Дальнейшее использование полученных обработанных данных для планирования лечения.</p>	<p>Создание новых функций облегчат работу пользователям, позволят сократить время планирования лечения.</p>	<p>Проект находится на стадии тестирования и пока не может выйти на рынок.</p>
<p>В3. Появление спроса на реализованный продукт.</p> <p>В4. Прорыв в нейтронной терапии.</p>	<p>Замещение устаревшего ПО.</p>	
<p>Угрозы</p> <p>У1. Появление более совершенных алгоритмов планирования терапии.</p> <p>У2. Неактуальность в будущем из-за появления более эффективного лечения онкологического заболевания</p> <p>У3. Появление на рынке конкурентов.</p>	<p>Способы снижения угроз:</p> <p>Сильные стороны позволят доработать или усовершенствовать данный продукт для повышения конкурентоспособности.</p> <p>Невысокая цена способствует повышению спроса.</p>	<p>Основной угрозой является появление возможной конкуренции. При более позднем выходе на рынок увеличивается шанс того, что в скором времени появятся новые алгоритмы, или данный проект будет неактуален.</p>

По результатам SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны научной разработки, а также ее угрозы и возможности. Слабые стороны можно компенсировать возможностями, а некоторые угрозы – сильными сторонами.

4.3 Анализ конкурентных решений

Нейтронная терапия проводится в малом количестве городов нашей страны и является редким методом лечения. Ближайшие аналоги ПО для планирования курса терапии уже устарели. В связи с этим имеется отсутствие прямых конкурентов при выходе на рынок в данный момент времени.

Для оценочной карты были выбраны следующие критерии:

- скорость выполнения работы;
- сопроводительная документация;
- простота ввода в эксплуатацию;
- корректная визуализация результатов;
- предполагаемый срок эксплуатации;
- цена.

Таблица 18. Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		К1 (Старый аналог)	К2 (Новое ПО)	К1 (Старый аналог)	К2 (Новое ПО)
Экономические критерии оценки эффективности					
1. •скорость выполнения работы	0,15	2	5	0,3	0,75
2. •сопроводительная документация	0,1	3	3	0,3	0,3
3. •простота ввода в эксплуатацию	0,1	4	3	0,4	0,3
4. •корректная визуализация результатов	0,25	2	4	0,5	1

Продолжение таблицы 18.

5. •предполагаемый срок эксплуатации	0,2	1	4	0,2	0,8
6. •цена	0,2	5	3	1	0.6
Итого	1	5	2	2.7	3,75

Позиция разработки оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Анализ конкурентных решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i * B_i, \quad (23)$$

где K – конкурентоспособность решения или конкурента, V_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование новой программы является наиболее предпочтительным методом для планирования курса нейтронной терапии (значение 3,75 является максимальным).

4.4 Потенциальные потребители результатов исследований

Разрабатываемый продукт предназначен для использования онкологическими клиниками и больницами для повышения качества и скорости планирования необходимой терапии. Коммерческое использование данного продукта предполагается только в случаях использования частными клиниками, следовательно, для дальнейшего анализа экономической эффективности будет рассмотрено именно распространение продукта среди частных клиник.

4.5 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- Материалы и покупные изделия;
- Заработная плата;
- Социальный налог;
- Расходы на электроэнергию (без освещения);
- Амортизационные отчисления;
- Оплата услуг связи;
- Прочие (накладные расходы) расходы.

4.5.1. Расчет заработной платы для исполнителей

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и студента (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы.

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{25,083} \quad (24)$$

Учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 19. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы – 15. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:

$K_{ПР} = 1,1$; $K_{доп.ЗП} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{и} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{доп.ЗП}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{и} = 1,62$.

Таблица – 19. Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная тарифная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1 342,09	28	1,699	63 845,9
С	15 470	616,75	58	1,62	57 949,83
Итого					121 795,73

4.5.2 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $S_{соц.} = S_{зп} * 0,3$.

Итак, в нашем случае:

$$S_{соц.} = 121\,795,73 * 0,3 = 36\,538,72 \text{ руб.}$$

4.5.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл.об} = P_{об} * t_{об} * ЦЭ, \quad (25)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

ЦЭ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ ЦЭ = 5,748 руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы – 15 для студента (ТРД) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{рд} * K_t, \quad (26)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени. Возьмем его равным 1.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} * K_C, \quad (27)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 20.

Таблица 20. Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}, \text{час}$	Потребляемая мощность $P_{об}, \text{кВт}$	Затраты $\text{Э}_{об}, \text{руб.}$
Персональный компьютер	464	0,3	800,12
Итого:			800,12

4.5.4 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{ам} = \frac{N_A * C_{об} * t_{рф} * n}{F_d}, \quad (28)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;
 $Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;
 $t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта,
учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2020 г. (299 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_{д} = 299 * 8 = 2392$ часа.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Для ПК найдем $N_A = 0,4$.

Стоимость ПК= 68 200 рублей. Время использования 464 часа, тогда для него:

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,4 * 68200 * 464 * 1}{2392} = 5291,77 \text{ руб.}$$

Итого начислено амортизации 5 291,77 руб.

4.5.5 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{проч} = (C_{зд} + C_{соц} + C_{эл.об} + C_{ам}) * 0,1 \quad (29)$$

Для нашего примера это:

$$C_{проч} = (121\,795,73 + 36\,538,72 + 800,12 + 5\,291,77) * 0,1 = 16\,442,63 \text{ руб.}$$

4.5.6 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта. Данные результаты можно посмотреть в таблице – 21.

Таблица – 21. Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	$C_{зп}$	121 795,73
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	36 538,72
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.}$	800,12
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	5 291,77
Прочие расходы	$C_{проч}$	16 442,63
Итого:		188 732,48

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 188\,732,48$ руб.

4.5.7 Расчет прибыли

Прибыль примем в размере 10 % от полной себестоимости проекта. В нашем примере она составляет 18 873,25 руб. (10 %) от расходов на разработку проекта.

4.5.8 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае:

$$\text{НДС} = (188\,732,48 + 18\,873,25) * 0,2 = 41\,521,15 \text{ руб.}$$

4.5.9 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 188\,732,48 + 18\,873,25 + 41\,521,15 = 249\,126,88 \text{ руб.}$$

4.6 Оценка научно-технического эффекта

Социально-научный эффект проявляется в росте числа открытий, изобретений, увеличении суммарного объема научно-технической информации, полученной в результате выполнения выпускной квалификационной работы, создании научного «задела», являющегося необходимой предпосылкой для проведения в будущем прикладных исследований и выполнения работа по модернизации конструкций выпускаемых изделий.

За последние годы появились предложения не только по качественной характеристике социального эффекта, но и по системе количественных показателей.

Элементом количественной оценки социально-научного эффекта следует считать определение научно-технического эффекта бакалаврской работы по следующей методике. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент научно-технического эффекта ВКР:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i * k_i, \quad (30)$$

где r_i – весовой коэффициент i -го признака (определяющийся по Таблице 22); k_i – количественная оценка i -го признака.

Проведем расчет коэффициента научно-технического эффекта ВКР для алгоритма синонимизации текста.

Таблица 22. Определение весового коэффициента

Признак научно-технического эффекта ВКР(i)	Применение значения весового коэффициента (r)
Уровень новизны	0,35
Теоретический уровень	0,25
Возможность реализации	0,4

Количественная оценка уровня новизны ВКР определяется на основе значений Таблицы 23.

Таблица 23. Количественная оценка уровня новизны ВКР

Уровень новизны разработки	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники	8-10

Продолжение таблицы 23.

Новая	По-новому или впервые объяснены известные факты, закономерности	5-7
Относительно новая	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований	2-4
Традиционная	Работа выполнена по традиционной методике, результаты исследования носят информационный характер	1
Не обладающая новизной	Получен результат, который ранее был известен	0

Для данной выпускной квалификационной работы уровень новизны – относительно новая, баллы – 4.

Теоретический уровень полученных результатов выпускной квалификационной работы определяется на основе значения баллов, приведенных в Таблице 24.

Таблица 24. Теоретический уровень полученных результатов в ВКР

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установления закона, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснения	8
Разработка способа (алгоритм, программ мероприятий, устройство, и т.д.)	6
Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии, или практических рекомендаций частного характера	2
Описание отдельных элементарных фактов (вещей, свойств, отношений); изложение опыта, наблюдений, результатов измерений	0,5

В данной выпускной квалификационной работе был разработан алгоритм для планирования терапии, следовательно, теоретический уровень полученных результатов равен 6 баллам.

Возможность реализации научных результатов определяется на основе значения баллов из Таблицы 25.

Таблица 25. Время и масштабы реализации проекта

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Более 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль(министерство)	4
Народное хозяйство	10

Данный проект можно реализовать в течение первых лет (10 баллов), однако реализовать его можно только на одно или несколько предприятий (2 балла).

Рассчитаем коэффициент научно-технического эффекта:

$$НТ = 0,35 * 4 + 0,25 * 6 + 0,4 * 12 = 7.7$$

Приведем таблицу оценок уровня научно-технического эффекта.

Таблица 26. Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень научно-технического эффекта	Коэффициент научно-технического эффекта
Низкий	1-4
Средний	5-7
Сравнительно высокий	8-10
Высокий	11-14

В соответствии с Таблицей 26, уровень научно-технического эффекта – сравнительно высокий.

Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. Проведено планирование НИР, а именно: определена структура и календарный план работы, трудоемкость, составлена ленточная диаграмма Ганта, и определен бюджет научно-исследовательской работы. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и инженер. Результаты соответствуют требованиям ВКР по срокам и иным параметрам.

2. Бюджет научно-технического исследования составил 349 939 руб. Бюджет НИИ состоит из материальных затрат (78 645 рублей), амортизационных отчислений (5 291 рублей), затрат на оплаты труда (121 795 рублей), отчислений во внебюджетные фонды (36 538 рубля) и накладных расходов (16 468 рубля).

3. Алгоритм синонимизации текста по многим показателям является более предпочтительным, чем другие варианты со значением 3,7.

4. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» с помощью SWOT-анализа были выведены наиболее эффективные в сложившейся ситуации стратегии. После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 349 939,6 рублей. Уровень научно-технического эффекта – сравнительно высокий. Проект экономически целесообразен.

5. Капиталовложения в размере 349 939,6 рублей позволят реализовать разработанный проект по написанию алгоритма для дозиметрического планирования терапии онкологических заболеваний.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

С развитием научно-технического прогресса компьютеры находят все большее применение на производстве, в научно исследовательских работах и в образовании. Однако, такое повсеместное применение вычислительной техники влечет за собой ряд различных заболеваний человека.

Так, для предупреждения вредного воздействия и сохранения здоровья сотрудника, работающего за компьютером, предусмотрен ряд мер по обеспечению безопасности трудовой деятельности.

В данной выпускной квалификационной работе разрабатывается алгоритм для дозиметрического планирования курсов нейтронной терапии онкологических заболеваний. Полученный алгоритм направлен на планирования лечения пациентов с заболеваниями. Предполагается, что данный продукт будет использоваться в онкологических клиниках.

Так как исследование реализовано с помощью ЭВМ, то целью данного раздела является анализ соблюдения санитарных норм и правил в процессе работы над проектом с применением компьютера. Рассматриваются меры по защите сотрудника от негативного воздействия среды. Исследуются вредные и опасные факторы пагубно влияющих на здоровье человека при работе с компьютерами. Изучаются способы снижения воздействия вредных факторов до допустимых пределов. А также, рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации и действия, которые офисный работник должен выполнить в случае возникновения ЧС.

В рамках данной работы объектом исследования раздела «Социальная ответственность» является алгоритм, реализуемый в виде программного приложения с помощью ЭВМ. В связи с чем необходимо знать вредные и опасные факторы при работе с ЭВМ, а также способы их устранения.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место должно быть организовано в соответствии ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические

требования» [11] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [13]. При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, шум, температура, влажность, наличие электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования.

Основные требования СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [13]:

При размещении рабочих мест с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) расстояние между рабочими столами с дисплеями должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями дисплеев – не менее 1,2 м.

Экран дисплея должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 0,6 – 0,7 м, но не ближе 0,5 м.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Допустимый уровень напряженности электромагнитного поля в 0,5 метрах относительно дисплея и системного – 2,5 [В/м];

Допустимый уровень плотности магнитного потока в 0,5 метрах относительно дисплея и системного блока в диапазоне частот 5-2 [КГц] составляет 250 [нТл]; поверхностный электростатический потенциал составляет 500 [В].

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» продолжительность рабочего дня не должна превышать восьми часов, при этом каждый час необходим перерыв продолжительностью 15 минут [11].

Нормативно-правовая база обеспечения безопасности жизнедеятельности населения и защиты территорий регламентирует обязанности и права государственных органов, общественных организаций, должностных лиц и всех граждан, закрепляет и регулирует устройство и назначение специальных органов управления в области защиты от ЧС, определяет ответственность всех уровней власти и граждан

Правовой основой законодательства в области обеспечения безопасности жизнедеятельности является Конституция.

Закон РФ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» № 68 – ФЗ от 21.12. 1994 г. [19] определяет общие для РФ организационно-правовые нормы в области защиты граждан РФ, иностранных граждан и лиц без гражданства, находящихся на территории РФ, всего земельного, водного, воздушного пространства в пределах РФ или его части, объектов производственного и социального назначения, а также окружающей природной среды от ЧС природного и техногенного характера.

Закон РФ «О гражданской обороне» № 28 – ФЗ от 12.02.1998 г. [20] определяет задачи в области гражданской обороны и правовые основы их осуществления, полномочия органов государственной власти РФ, органов исполнительной власти субъектов РФ, органов местного самоуправления, организаций независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, а также силы и средства гражданской обороны.

Обеспечение экологической безопасности на территории РФ, формирование и укрепление экологического правопорядка основаны на действии Федерального закона «Об охране окружающей природной среды».

5.2 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [21] неблагоприятные производственные факторы по результирующему воздействию на организм работающего человека подразделяют на:

- вредные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания;
- опасные производственные факторы, то есть факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 27.

Таблица 27 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СП 52.13330.2016 [21]
2. Превышение уровня шума на рабочем месте	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. [22]
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. [9]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [13]
5. Монотонность труда	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 [20]
6. Опасность поражения электрическим током	+	+	ГОСТ Р 12.1.019- 2009 ССБТ
7. Повышенный уровень ионизирующего излучения в рабочей зоне	-	+	ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ [24]

Продолжение таблицы 27.

8. Электромагнитное излучение высокой частоты (при работе укорителей).	-	+	ГОСТ 12.4.292-2013 ССБТ [23]
9. Повышенная концентрация радионуклидов на рабочих поверхностях и в воздухе рабочих помещений с открытыми источниками излучений	-	+	СП 2.6.1.2612-10 [25]
10. Повышенная концентрация токсических компонентов защитных материалов на рабочих поверхностях и в воздухе рабочих помещений	-	+	СП 2.6.1.2612-10 [25]
11. Повышенная концентрация озона, окислов азота и от воздушных электрических разрядов в высоковольтных устройствах	-	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [16]

5.3 Анализ выявленных опасных и вредных факторов

Недостаточная освещенность рабочей зоны. Неправильно организованное освещение может негативно сказаться на здоровье работников, может ухудшиться зрение. Также недостаточная освещенность может привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности. В соответствии со сводом нормативных актов СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*» освещенность при разработке алгоритма должна составлять 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна превышать 300 лк. Коэффициент пульсации не должен превышать 5% [21].

Для искусственного освещения помещений с персональными компьютерами следует применять светильники типа ЛПО36 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Допускается применять светильники прямого света, преимущественно отраженного света типа ЛПО13, ЛПО5, ЛСО4, ЛПО34, ЛПО31 с люминесцентными лампами типа ЛБ. Допускается применение светильников местного освещения с лампами накаливания. Светильники должны располагаться в виде сплошных или прерывистых линий сбоку от рабочих мест параллельно линии зрения пользователя при разном расположении компьютеров. При периметральном расположении линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору. Защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающийся отражатель с защитным углом не менее 40 градусов.

Превышение уровня шума. При разработке программного обеспечения, основными источниками шума являются:

Вентиляторы и кулеры системных блоков, находящихся в комнате;

Жесткие диски и системные блоки.

Также могут иметься иные источники шума, находящиеся за пределами рабочего помещения (строительные и ремонтные работы, массовые мероприятия и т.д.).

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562–96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки» при выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ приведены в таблице 28 [22]

Таблица 28. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

В случае несоответствия показателей шума установленным нормам, необходимо прибегнуть к мерам по их оптимизации:

- замена компонент ЭВМ на менее шумные аналоги;
- установка звуконепроницаемых окон и дверей.

Отклонение показателей микроклимата. При определенных значениях параметров микроклимата человек испытывает состояние теплового комфорта, что способствует повышению производительности труда, предупреждению простудных заболеваний. Неблагоприятные значения микроклиматических показателей могут стать причиной снижения производственных показателей в работе, привести к таким заболеваниям, как различные формы простуды, радикулит, тонзиллит, хронический бронхит и др. Слишком высокая влажность затрудняет терморегуляцию, а слишком низкая вызывает пересыхание

слизистых: дыхательных путей и глаз. Также уровень влажности влияет на электростатические и электромагнитные поля: чем он выше, тем слабее влияние указанных полей.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. В соответствии с СанПиН 2.2.4.548–96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» работа программиста соответствует категории работ *Ia* (работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением) [9]. Оптимальные параметры микроклимата для категории работ *Ia* приведены в таблице 16 [9], допустимые параметры микроклимата – в таблице 17.

Таблица 29. Оптимальные параметры микроклимата

Сезон	Температура воздуха, t [°C]	Температура поверхностей, t [°C]	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, [м/с]
Холодный и переходный (среднесуточная температура меньше 10°C)	22-24	21 – 25	40-60	0,1
Теплый (среднесуточная температура воздуха 10°C и выше)	23-25	22-26	40-60	0,1

Таблица 30 – Допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Ниже оптимальных величин не более	Выше оптимальных величин не более
Холодный и переходный	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0 -26,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0 -29,0	15-75	0,1	0,2

В случае несоответствия показателей микроклимата установленным нормам необходимо прибегнуть к мерам по их оптимизации:

- установка кондиционеров и обогревателей в рабочих помещениях;
- усовершенствование, ремонт вентиляционной и отопительной систем.

Поражение человеческого организма электрическим током может служить причиной травм различного характера: повреждение мышечного и кожного покровов, ожоги различной степени и т.д. Последствия действия тока на организм человека зависят от силы тока, длительности его действия, пути тока в теле и индивидуальных свойств организма.

Для предотвращения поражения электрическим током при работе с компьютером необходимо:

- обеспечить недоступность токоведущих частей для прикосновения;
- подключать все электрические приборы, включая ЭВМ, к сети питания только через сетевой фильтр;
- избегать возникновения повышенной влажности;

- не снимать боковую крышку корпуса ЭВМ при включённой сети питания;
- обеспечивать чистоту помещения и не допускать запыленности воздуха.

Часто в процессе эксплуатации ЭВМ возникает необходимость замены и ремонта ее составляющих. В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 запрещено проводить ремонт ЭВМ непосредственно в рабочих, лабораторных и рабочих помещениях [13].

Особенности воздействия ионизирующего излучения на организм человека:

- Высокая эффективность поглощённой энергии, даже малые её количества могут вызвать глубокие биологические изменения в организме.
- Наличие скрытого (инкубационного) периода проявления действия ионизирующих излучений.
- Действие от малых доз может суммироваться или накапливаться. • Генетический эффект - воздействие на потомство.
- Различные органы живого организма имеют свою чувствительность к облучению.
- Не каждый организм (человек) в целом одинаково реагирует на облучение.
- Облучение зависит от частоты воздействия. При одной и той же дозе облучения вредные последствия будут тем меньше, чем более дробно оно получено во времени.

Общие требования радиационной безопасности должны соответствовать "Основным санитарным правилам работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87", "Нормам радиационной безопасности НРБ-76/87", "Санитарным правилам размещения и

эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ", утвержденным Минздравом СССР.

Ускорители и их составные части, являющиеся источниками радиационной опасности, должны быть отмечены предупреждающим знаком радиационной опасности в соответствии с требованиями ГОСТ 17925.

В местах, пребывание в которых связано с возможной опасностью для работающих (кроме радиационной), а также на производственном оборудовании, являющимся источником такой опасности, должны быть установлены знаки безопасности и нанесены сигнальные цвета в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026 [26].

Общие санитарно-гигиенические требования к температуре, влажности, скорости движения воздуха и содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны ускорителя или радиационно-технологической установки с использованием ускорителя - по ГОСТ 12.1.005.

Требования к допустимым уровням электростатических и электромагнитных полей на рабочих местах персонала должны соответствовать требованиям [26]:

- ГОСТ 12.1.045;
- ГОСТ 12.1.006;

"Санитарных норм и правил при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот", утвержденных Минздравом СССР.

Радиационная безопасность на радиационном объекте и вокруг него обеспечивается за счет:

- качества проекта радиационного объекта;
- обоснованного выбора района и площадки для размещения радиационного объекта;
- обеспечения сохранности источников ионизирующего излучения и исключения возможности их несанкционированного использования;

- зонирования территории вокруг наиболее опасных объектов и внутри них;
- условий эксплуатации технологических систем;
- санитарно-эпидемиологической оценки и лицензирования деятельности с источниками ионизирующего излучения;
- санитарно-эпидемиологической оценки изделий и технологий;
- наличия системы радиационного контроля;
- планирования и проведения мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при нормальной работе объекта, его реконструкции и выводе из эксплуатации;
- повышения радиационно-гигиенической грамотности персонала и населения.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается:

- ограничениями допуска к работе с источниками ионизирующего излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям;
- защитными барьерами, экранами и расстоянием от источников ионизирующего излучения, а также ограничением времени работы с источниками ионизирующего излучения;
- созданием условий труда, отвечающих требованиям НРБ-99/2009 и настоящих Правил;
- применением индивидуальных средств защиты;
- соблюдением установленных контрольных уровней;
- организацией радиационного контроля;
- организацией системы информации о радиационной обстановке;
- проведением эффективных мероприятий по защите персонала при планировании повышенного облучения в случае аварии.

При конструировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации технологического оборудования должны быть предусмотрены соответствующие меры по предупреждению или уменьшению до минимума вредных выделений в воздух рабочих помещений.

При невозможности полного устранения вредных выделений в воздух рабочих помещений следует путем использования рациональных объемно планировочных решений по ГОСТ 12.4.011-75 максимально ограничить их распространение в рабочих зонах данных и смежных помещениях и участков до величин, не превышающих предельно допустимых. При кратковременных работах в ЧП, когда невозможно уменьшить вредные выделения до допустимых уровней, необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты и принимать срочные меры по нормализации состава воздуха рабочей зоны.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать установленных предельно допустимых концентраций ПДК, указанных в таблице 18 [16].

Даже небольшие концентрации токсичного озона могут быть вредны для здоровья. Ранние признаки воздействия повышенных концентраций этого газа включают раздражение глаз, сухость во рту, кашель, затруднение дыхания, хрипы, одышку, боль в груди и другие признаки.

Воздействие оксидов азота на человека приводит к нарушениям функций легких и бронхов. Воздействию оксидов азота в большей степени дети и взрослые, страдающие сердечно — сосудистыми заболеваниями. В воздухе оксиды азота в зависимости от концентрации вызывают: раздражения слизистых оболочек носа и глаз $C = 0,001$ об. %, начало кислородного голодания $C = 0,001$ об. %, отек легких $C = 0,008$ об. %.

Таблица 31. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Азота окислы (в пересчете на NO ₂)	2	III	п
Озон	0,1	II	п

5.4 Экологическая безопасность

5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Объект исследования является теоретическим и не оказывает влияния на окружающую среду.

5.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

В ходе данной работы были использованы следующие ресурсы:

- электроэнергия для работы компьютера;
- бумага;
- люминесцентные лампы.

С точки зрения потребления ресурсов компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, что положительным образом сказывается на общей экономии потребления электроэнергии в целом.

При написании ВКР вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому не оказывались существенные воздействия на окружающую среду, и никакого ущерба окружающей среде не было нанесено.

5.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

В связи с тем, что огромная масса информации содержится на бумажных носителях, уничтожение бумаги играет очень важную роль. Среди основных методов уничтожения, которые применяются на сегодняшний день для бумажных документов, следует отметить следующие:

- Сжигание документов.
- Шредирование.
- Закапывание.
- Химическая обработка.

Переработка оргтехники включает в себя несколько этапов:

Первый этап – удаление всех опасных компонентов.

Второй этап – удаление всех крупных пластиковых частей. В большинстве случаев эта операция также осуществляется вручную. Оставшиеся после разборки части отправляют в большой измельчитель, и все дальнейшие операции автоматизированы.

Третий этап – измельченные в гранулы остатки компьютеров подвергаются сортировке. Сначала с помощью магнитов извлекаются все железные части. Затем приступают к выделению цветных металлов, которых в ПК значительно больше.

Перегоревшие люминесцентные лампы можно отнести в свой районный ДЕЗ или РЭУ, где установлены специальные контейнеры. Там их должны бесплатно принять.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Объект исследования является теоретическим и не может привести к возникновению ЧС.

5.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при написании выпускной квалификационной является пожар на рабочем месте.

В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

- В помещении должны находиться средства тушения пожара;
- Электрическая проводка электрооборудования должна быть исправна;
- Все сотрудники должны знать место нахождения средств пожаротушения и уметь ими воспользоваться, средств связи и номера экстренных служб.

Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация и средства связи.

5.5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

В случае возникновения пожара сообщить о нем руководителю и постараться устранить очаг возгорания имеющимися силами при помощи первичных средств пожаротушения. Привести в действие ручной пожарный извещатель, если очаг возгорания потушить не удастся, а также сообщить о

возгорании в службу пожарной охраны по телефону 101 или 112, сообщить адрес, место и причину возникновения пожара.

5.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

Проанализировав и оценив условия труда в рабочем помещении, где была разработана выпускная квалификационная работа, можно сделать выводы, что грубых нарушений по организации работы не обнаружено и нормы безопасности соблюдены. Само помещение и рабочее место удовлетворяет всем нормативным требованиям. Действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму, т.е. микроклимат, освещение и электробезопасность соответствуют требованиям, предъявленным в соответствующих нормативных документах. Не стоит забывать, что монитор компьютера служит источником вредного фактора и отрицательно влияет на здоровье сотрудника. Во избежание этого, нужно делать перерывы в работе и проводить специальные комплексы упражнений для разминки тела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью работы являлась разработка и реализация алгоритмического и программного обеспечения, предназначенного для дозиметрического планирования лучевой нейтронной терапии онкологических заболеваний. Архитектура полученного решения была разработана с учетом последующего расширения функционала, но при этом уже может использоваться для упрощения работы персонала.

В целом, в рамках разрабатываемого продукта было создано приложение, позволяющее рассчитывать дозы на коже, дозы в жизненно-важных (критических) точках, рассчитывать оценочные показатели для корректировки терапии (ВДФ, ФЭД), а также позволяющее получить карту распределения доз по облучаемой поверхности тела.

Система подлежит дальнейшему развитию и улучшению для внедрения в работу медицинских учреждений. В планах дальнейшего развития проекта:

- расчет изоэффективных доз, основанных на относительной биологической эффективности;
- построение карты распределения изоэффективных доз;
- в случае необходимости – создание более удобных условий работы с исходными данными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мусабаева Л.И. , Головков В.М. Терапия быстрыми нейтронами в онкологии. Изд. ТПУ, Томск, 2015.
2. ГУУ НИИ онкологии Томского науч. центра СО РАН; под ред. Мусабаевой Л.И., Лисина В.А. Нейтронная терапия злокачественных новообразований, Томск, 2008.
3. Головков В.М., Лисин В.А., Мусабаева Л.И., Старцева Ж.А., Великая В.В. 30 лет нейтронной терапии на циклотроне U-20 Томского политехнического университета, Томск, 2013.
4. Чойнзонов Е.Л. Методические основы предупреждения лучевых реакций у пациентов при нейтронно-фотонной терапии злокачественных новообразований /Лисин В.А., Грибова О.В., Великая В.В., Старцева Ж.А.: Сибирский онкологический журнал, Томск, 2019.
5. Зырянов Б.Н., Мусабаева Л.И., Летов В.Н., Лисин В.А. Дистанционная нейтронная терапия. Изд. ТГУ, Томск, 1991, 300 с.
6. Лисин В.А. Метод расчета распределения поглощенной дозы пучка быстрых нейтронов циклотрона У-120 в биологической ткани. – Мед. Радиология. – 1990.
7. Лисин В. А. Дозиметрическое компьютерное планирование терапии злокачественных опухолей пучком быстрых нейтронов циклотрона У-120. – Мед. Радиология. – 1991.
8. Лисин В.А. Модель ВДФ для дистанционной терапии злокачественных опухолей быстрыми нейтронами. – Мед. Радиология. – 1988.
9. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
10. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
11. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования от 01.03.1986: дата

введения 01.01.1979. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/31970> (дата обращения: 26.04.2020). – Текст: электронный.

12. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения от 01.01.2008: дата введения 30.06.1997. – <https://internet-law.ru/gosts/gost/5265/> (дата обращения: 26.04.2020). – Текст: электронный.

13. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы

14. СП 52.13330.2011 Свод правил естественное и искусственное освещение.

15. ГОСТ 12.1.038–82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов от 01.1.1988: дата введения 30.06.1983. – <https://internet-law.ru/gosts/gost/21681> (дата обращения: 01.05.2020). – Текст: электронный.

16. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны от 01.01.2008: дата введения 01.01.1989. – <https://internet-law.ru/gosts/gost/1583> (дата обращения: 26.04.2020). – Текст: электронный.

17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

18. СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

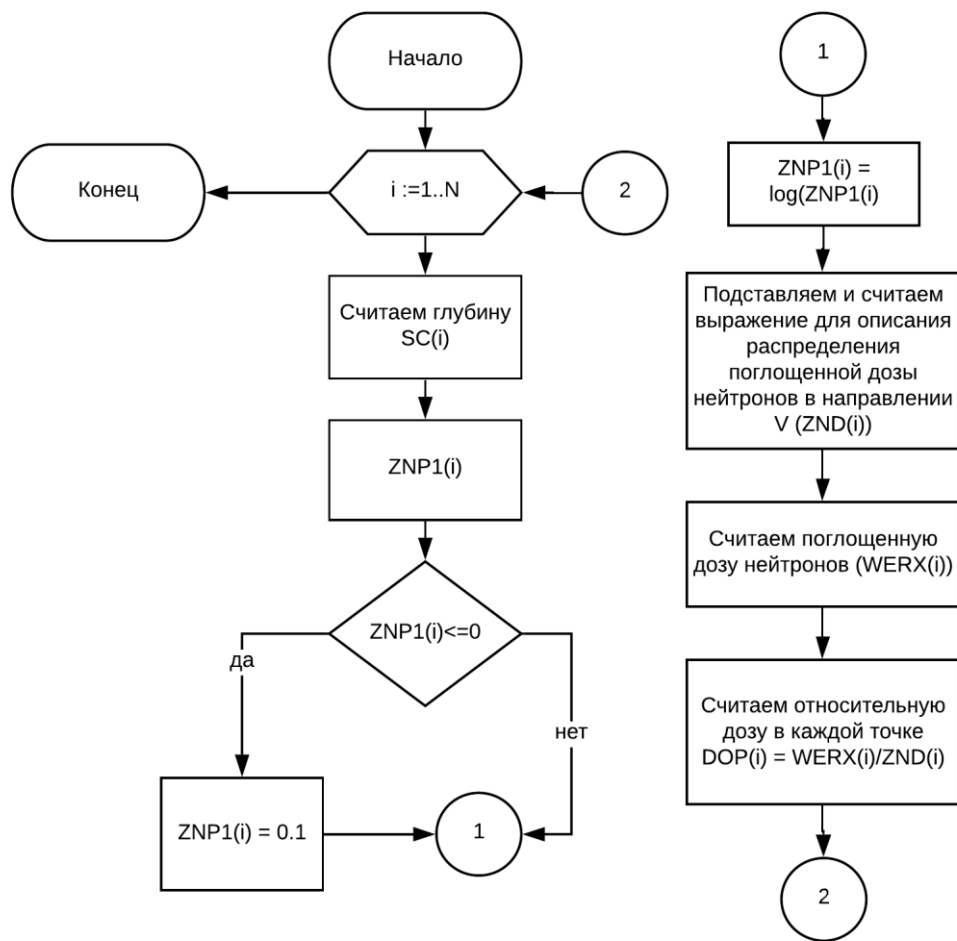
19. Федеральный закон от 12 февраля 1998 г. № 28 – ФЗ О гражданской обороне (с изменениями и дополнениями).

20. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

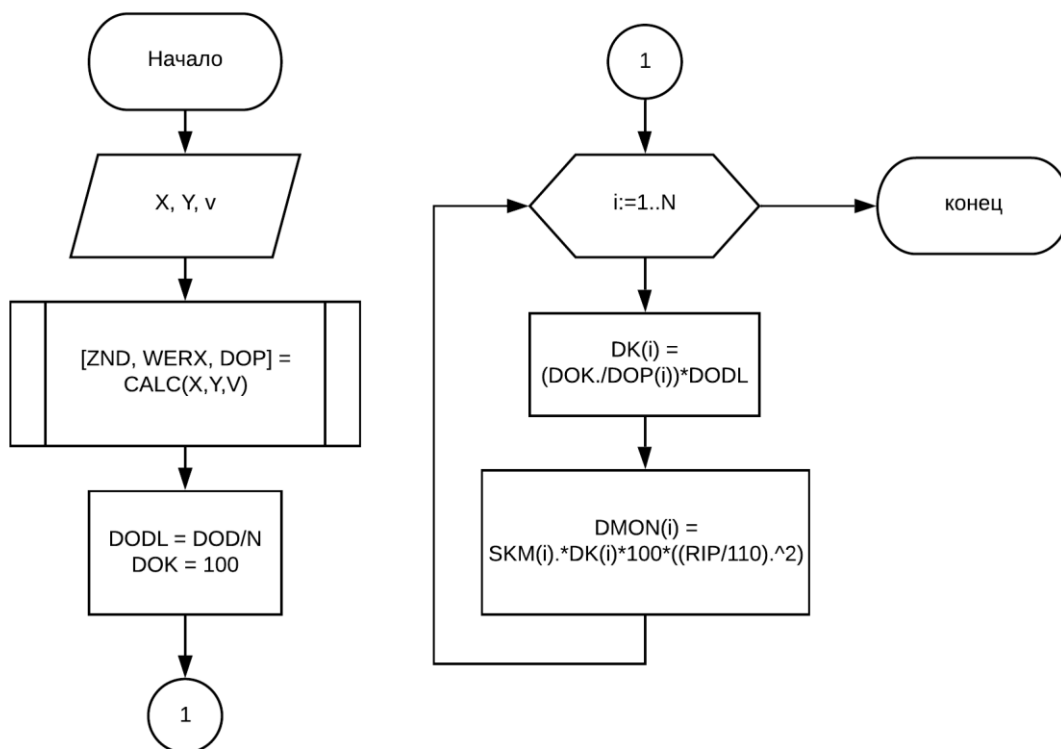
21. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*

22. СанПин 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки
23. ГОСТ 12.4.292-2013 ССБТ. Комплект экранизирующего для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона.
24. ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения.
25. СанПин 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.
26. ГОСТ 27632-88. Ускорители заряженных частиц промышленного применения. Общие технические требования.
27. ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
28. ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

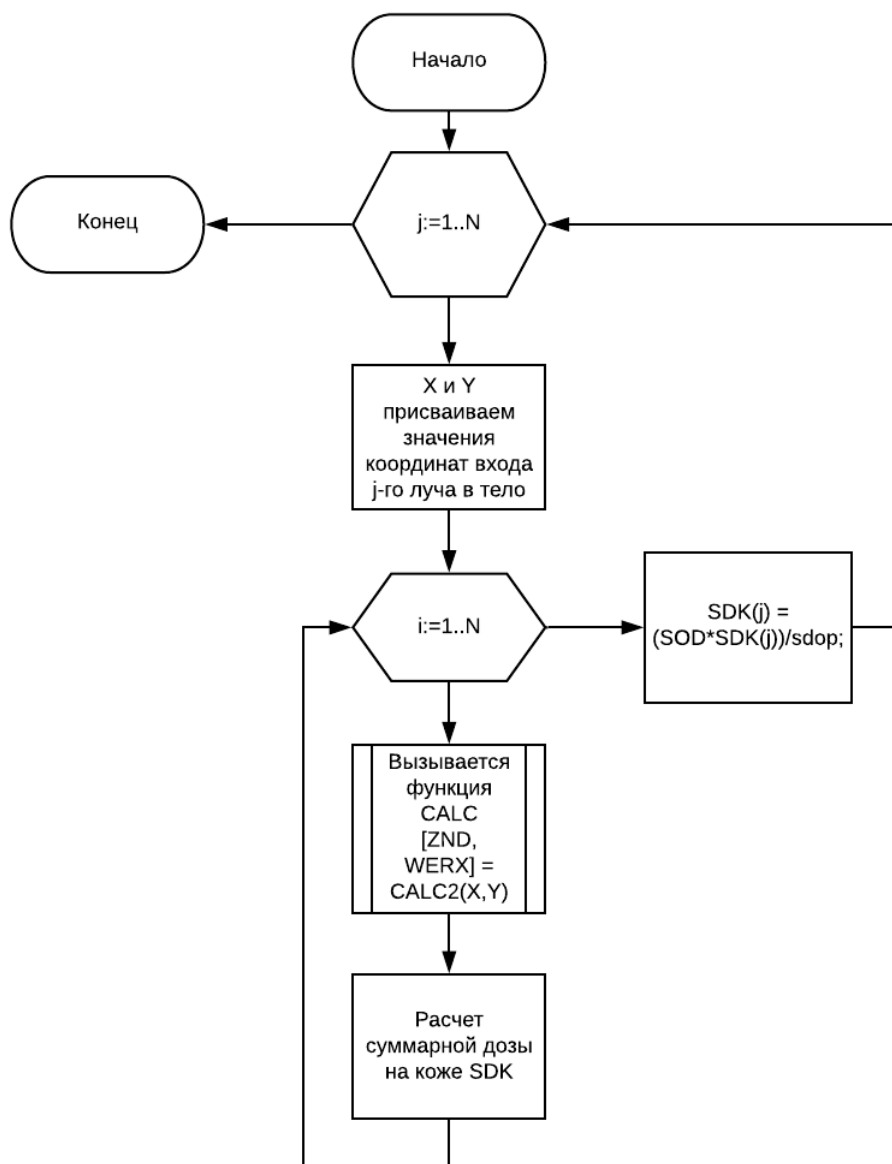
ПРИЛОЖЕНИЕ А. БЛОК-СХЕМА ФУНКЦИИ CALC



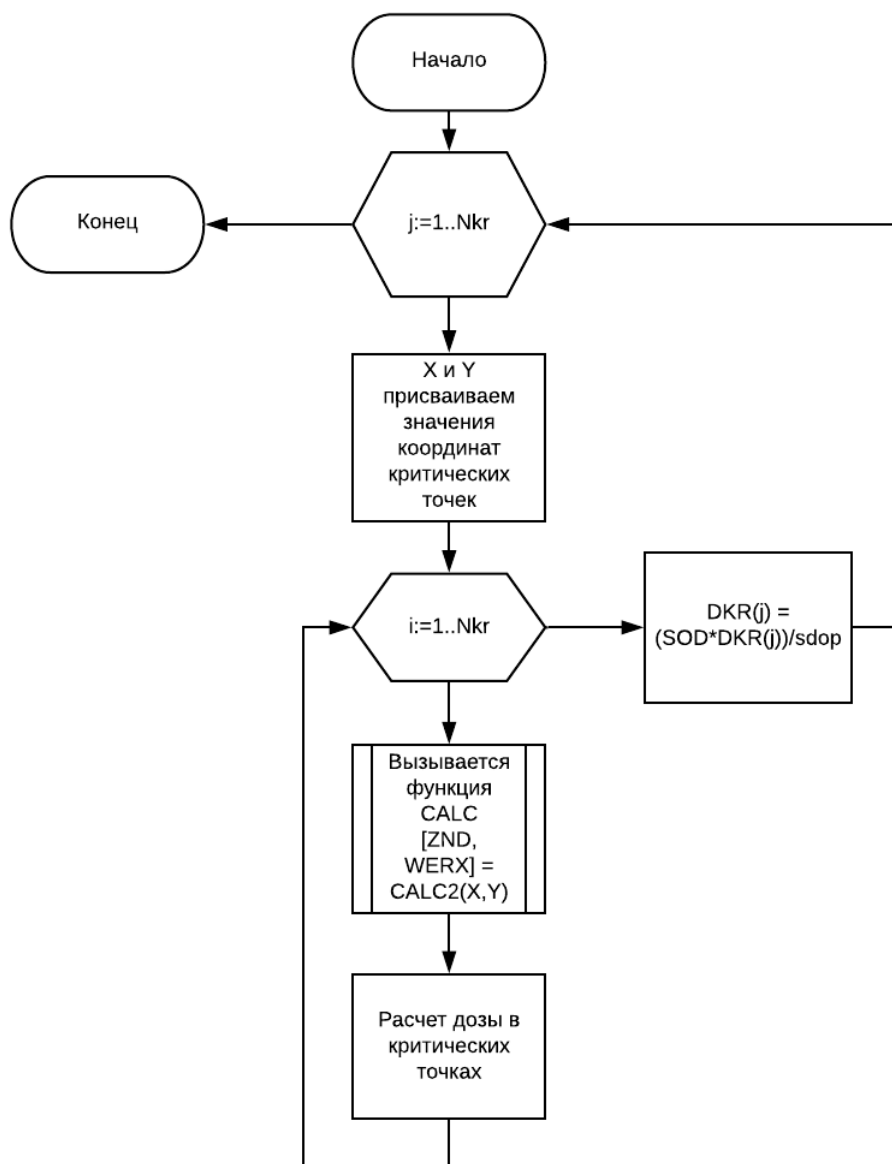
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. БЛОК-СХЕМА РАСЧЕТА МОНИТОРНЫХ ДОЗ



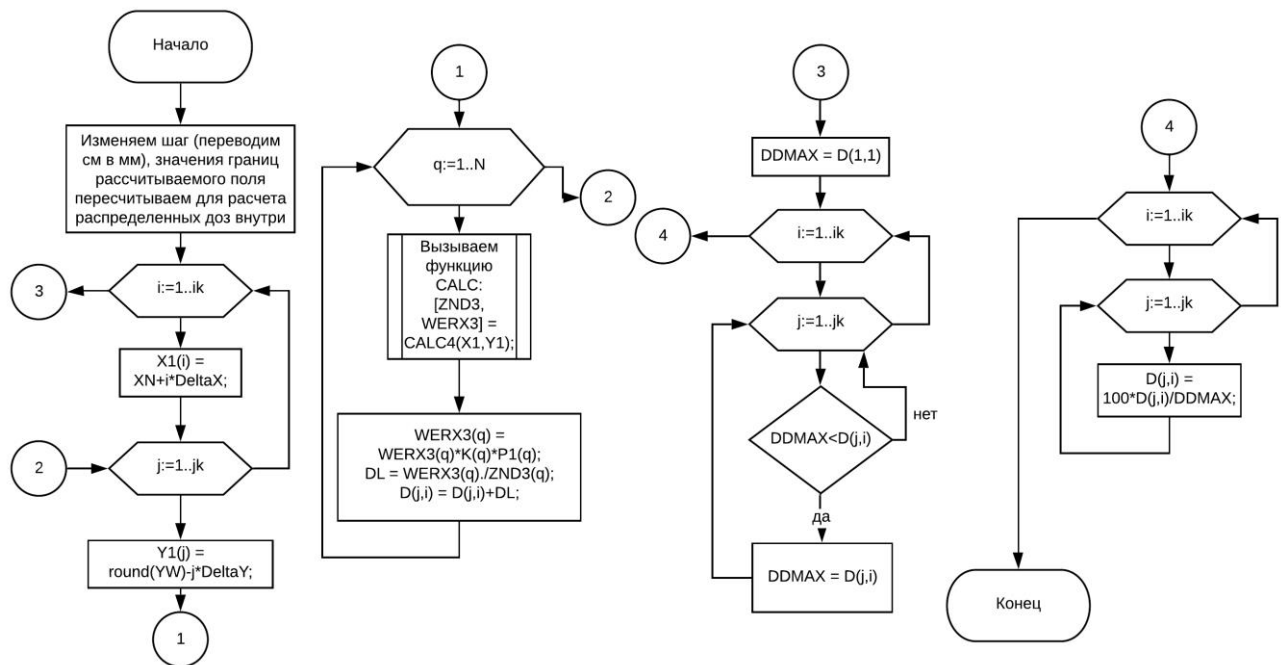
ПРИЛОЖЕНИЕ В. БЛОК-СХЕМА РАСЧЕТА СУММАРНЫХ ДОЗ НА КОЖЕ



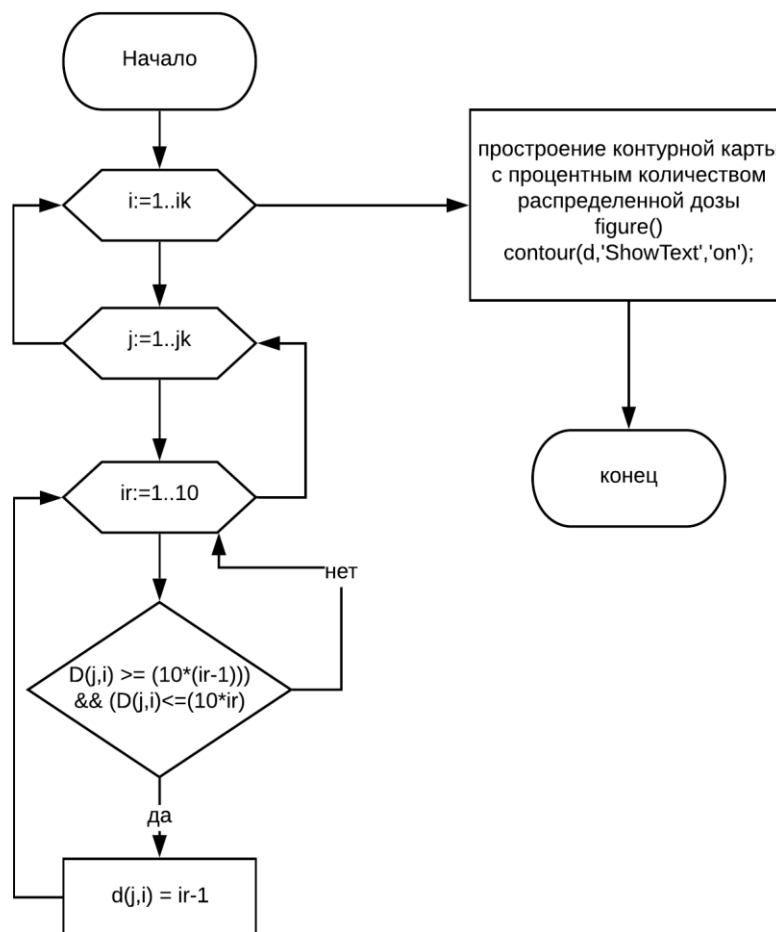
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. БЛОК-СХЕМА РАСЧЕТА ДОЗ В КРИТИЧЕСКИХ ТОЧКАХ



ПРИЛОЖЕНИЕ Д. БЛОК-СХЕМА РАСЧЕТА МАССИВА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ НЕЙТРОНОВ В ПРОЦЕНТАХ



**ПРИЛОЖЕНИЕ Е. БЛОК-СХЕМА ПОДГОТОВКИ
ДАНЫХ МАССИВА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННЫХ
ДОЗ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КОНТУРНОЙ КАРТЫ.
ПОСТРОЕНИЕ КОНТУРНОЙ КАРТЫ**



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. ФУНКЦИИ CALC

Листинг 1. Функция CALC

```
function [ZND, WERX, DOP] = CALC(X,Y,V,P)
global C F Alpha Beta B i S N;
for i=1:N
W(i) = (X-C(i)).*cos(Alpha(i))+(Y-F(i)).*sin(Alpha(i));
P(i) = 2; %полутень поля облучения
SC(i) = abs(W(i)-0.6666*V*sin(Beta(i))./cos(Beta(i))); %Глубина
ZNP1(i) = 1 - (P(i)+0.166*SC(i))./B(i);

if (ZNP1(i) <= 0)
    ZNP1(i) = 0.1;
end

ZNP(i) = log(ZNP1(i));
%распределение поглощенной дозы нейтронов в направлении V
ZND(i) = 1+(2*abs(V)./(B(i))).^(-2.2./ZNP(i));
PS(i) = (0.0044).*(S(i)-48)*SC(i);
Z(i) = 100*exp(-(0.00308.*SC(i)+0.107).*abs(SC(i)-0.2));
WERX(i) = Z(i) + PS(i); %поглощенная доза нейтронов
DOP(i) = WERX(i)./ZND(i);
end
end
```

Листинг 2. Функция CALC2

```
function [ZND, WERX] = CALC2(X,Y)
global C F Alpha Beta B i S j;

W(i) = (X-C(i)).*cos(Alpha(i))+(Y-F(i)).*sin(Alpha(i));
V(i) = (Y-F(j)).*cos(Alpha(i))-(X-C(j)).*sin(Alpha(i));
P(i) = 2;
SC(i) = abs(W(i)-0.6666*V(i).*sin(Beta(i))./cos(Beta(i)));
ZNP1(i) = 1 - (P(i)+0.166*SC(i))./B(i);
if (ZNP1(i) <= 0)
ZNP1(i) = 0.1;
end
ZNP(i) = log(ZNP1(i));
ZND(i) = 1+(2*abs(V(i))./(B(i))).^(-2.2./ZNP(i));
PS(i) = (0.0044).*(S(i)-48)*SC(i);
Z(i) = 100.*exp(-(0.00308.*SC(i)+0.107).*abs(SC(i)-0.2));
WERX(i) = Z(i) + PS(i);

end
```

Листинг 3. Функция CALC4

```
function [ZND3, WERX3] = CALC4(X1,Y1)
global C F Alpha Beta B i S j q;

W(q) = (X1(i)-C(q)).*cos(Alpha(q))+(Y1(j)-F(q)).*sin(Alpha(q));
V(q) = (Y1(j)-F(q)).*cos(Alpha(q))-(X1(i)-C(q)).*sin(Alpha(q));
P(q) = 2;
SC(q) = abs(W(q)-0.6666*V(q).*sin(Beta(q))./cos(Beta(q)));
ZNP1(q) = 1 - (P(q)+0.166*SC(q))./B(q);
if (ZNP1(q) <= 0)
ZNP1(q) = 0.1;
end
ZNP(q) = log(ZNP1(q));
ZND3(q) = 1+(2*abs(V(q))./(B(q))).^(-2.2./ZNP(q));
PS(q) = (0.0044).*(S(q)-48)*SC(q);
Z(q) = 100.*exp(-(0.00308.*SC(q)+0.107).*abs(SC(q)-0.2));
WERX3(q) = Z(q) + PS(q);

end
```

ПРИЛОЖЕНИЕ И. ПРОГРАММНЫЙ КОД РЕАЛИЗАЦИИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Листинг 4. Основная часть программы

```
%Исходные данные
global C F Alpha Beta B i S N j q;
N = 2;%число полей облучения
Tkurs = 28; %длительность курса (сутки)
K = [6 6]; %число сеансов i-го поля
S = [48 48]; %площадь i-го поля %бх8
B = [6 6]; %ширина i-го поля
BetaG = [-10 0]; %угол падения i-го луча на тело, град
C = [5 14]; %x-координаты входа i-го луча в тело
F = [11 12]; %y-координаты входа i-го луча в тело
AlphaG = [0 90]; %угол поворота i-й системы координат, град

for i = 1:N
Beta(i) = BetaG(i).*pi./180; %переводим в радианы
Alpha(i) = AlphaG(i).*pi./180;
end

%координаты центра опухоли
Xco = 7;
Yco = 11;

%однократная и суммарная очаговые дозы, Гр
DOD = 1.2;
SOD = 7.21;

RIP = 110; %расстояние источник - поверхность (РИП)
SKM = [2.1 2.1]; %коэффициент монитор/поле
OUS = 1;
MKO = 16; %Число точек опухолей
XN = -10; XK = 20; YN = -10; YW = 20; %граница рассчитываемого поля
Nkr = 2; %количество критических точек
Xkr = [5 8.5]; Ykr = [9 12]; %координаты критических точек

%расчет мониторных доз
V = 0; %направление
X = Xco;
Y = Yco;
[ZND, WERX, DOP] = CALC(X,Y,V);
DODL = DOD/N;
DOK = 100;
for i = 1:N
    DK(i) = (DOK./DOP(i))*DODL; %доза, которую набирает
ионизационная камера на коже
    DMON(i) = SKM(i).*DK(i)*100*((RIP/110).^2);
end

disp('Доза монитора при облучении i-го поля:');
disp(DMON);
```

```

%Расчет ВДФ, доз на коже, ф/э доз
DMON1 = DMON(1);
P1 = DMON./DMON1; %мониторный коэффициент

sdop = 0;
for i = 1:N
    DOP(i) = DOP(i)*K(i)*P1(i);
    sdop = sdop+DOP(i); %суммарная поглощенная доза со всех полей
облучения на коже
end

NFR = (SOD/DOD); %число сеансов
ODOP = sdop/NFR;

PROM = Tkurs/(NFR - 1); %средний временной интервал между сеансами
терапии
WDF = 6.8*NFR*(((0.078*DOD+0.96)*DOD).^1.18)*(PROM.^(-0.13)); % g =
6.8 - нормированный множитель
FEDO = 0.6*WDF; %ФЭД (фонтонзквивалентная доза)
SSR = 0;

disp('Фонтонзквивалентная доза (ФЭД):');
disp(FEDO);
disp('Время-доза-фракционирование (ВДФ):');
disp(WDF);

for i = 1:N
    SSR = SSR+S(i);
end

SSR = SSR/N; %суммарная площадь облучения
WDFPR = 400*(SSR.^(-0.3)); %ВДФ (время-доза-фракционирование
предельное) предельно-допустимое

disp('Предельное значение ВДФ:');
disp(WDFPR);

%Расчет суммарных доз и ВДФ на коже

for j = 1:N

    X = C(j); Y = F(j);
    SDK(j) = 0;

    for i = 1:N
        [ZND, WERX] = CALC2(X,Y);
        ODK(i) = (WERX(i)/ZND(i))*P1(i);
        SDK1 = ODK(i)*K(i); %суммарная доза на коже
        SDK(j) = SDK(j)+SDK1;
    end
    SDK(j) = (SOD*SDK(j))/sdop;
end

disp('Суммарная доза на коже в зоне i-го поля:');
disp(SDK); %Доза на коже в зоне i-го поля

```

```

for j = 1:N
    ODKGR(j) = SDK(j)./NFR;
    WDFP(j) = 6.8*NFR*((9*(10.^(-
2))*ODKGR(j)+0.96)*1.16*ODKGR(j)).^(1.18);
    WDFP(j) = WDFP(j)*(PROM.^(-0.13)); %ВДФ в зоне каждого поля
    FEDP(j) = 0.6*WDFP(j); %ФЭД в зоне каждого поля
end

disp('ВДФ в зоне каждого поля:');
disp(WDFP);
disp('ФЭД в зоне каждого поля:');
disp(FEDP);

%Расчет доз в критических точках
for j = 1:Nkr
    X = Xkr(j); Y = Ykr(j);
    DKR(j) = 0;
    for i = 1:Nkr
        [ZND, WERX] = CALC2(X,Y);
        DKR1 = (WERX(i)/ZND(i))*K(i)*P1(i);
        DKR(j) = DKR(j)+DKR1;
    end
    DKR(j) = (SOD*DKR(j))/sdop;
end

disp('Доза в критических точка: ');
disp(DKR);

%расчет массива распределения поглощенной дозы нейтронов
DeltaX = 0.1; %изменения иттерации
DeltaY = 0.1;
ik = round((XK-XN)./DeltaX);
jk = round((YW-YN)./DeltaY);

for i = 1:ik
    X1(i) = XN+i*DeltaX;
    for j = 1:jk
        Y1(j) = round(YW)-j*DeltaY;
        D(j,i) = 0;
        for q = 1:N
            [ZND3, WERX3] = CALC4(X1,Y1);

            WERX3(q) = WERX3(q)*K(q)*P1(q);
            DL = WERX3(q)./ZND3(q);
            D(j,i) = D(j,i)+DL;
        end
    end
end
end

```



```

%поиск максимума в распределении изозффективных доз
DDMAX = D(1,1);
for i = 1:ik
    for j = 1:jkk
        if DDMAX<D(j,i)
            DDMAX = D(j,i);
        end
    end
end
DOTMAX = SOD * DDMAX/sdop;

for i = 1:ik
    for j = 1:jkk
        D(j,i) = 100*D(j,i)/DDMAX; %процентное отношение дозы от
максимальной
    end
end

for i = 1:ik
    for j = 1:jkk
        for ir = 1:10
            if (D(j,i) >= (10*(ir-1))) && (D(j,i)<=(10*ir))
                d(j,i) = ir-1; %укомплектовываем дозы по процентным
предельным значениям
            end
        end
    end
end
figure()
contour(d, 'ShowText', 'on'); %строим контурную карту с количеством
распределенной дозы

```