

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА №1 «Радиационной физики и безопасности атомных
технологий»

ГУНГОР МУСТАФА БАРЫШ

Выпускная квалификационная работа
специалиста

на тему:

«Расчет характеристик полей излучения в
помещении от внешнего излучения ^{131}I »

Выпускная квалификационная
работа защищена

«___» _____ 2020г.

Оценка _____

Секретарь ГЭК _____

г. Москва 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА №1 «Радиационной физики и безопасности атомных
технологий»

Пояснительная записка к выпускной
квалификационной работе

на тему:

«Расчет характеристик полей излучения в
помещении от внешнего излучения ^{131}I »

Студент

Форма обучения: _____ Гунгор М.Б.

очная (дневная)

Научный руководитель, _____ Ксенофонтов А.И.

к.ф.-м.н.

Рецензент

доцент, к.ф.-м.н. _____ Колдобский А.Б

И.о. Зав. кафедрой №1

доцент, к.ф.-м.н. _____ Дёмин В.М.

г. Москва 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Литературный обзор. Основные характеристики радионуклидного источника йода-131	5
1.1. Классификация источников излучения.....	5
1.2. Образование и свойства радионуклидов йода-131.....	5
1.3. Количественные характеристики обмена йода в организме человека.....	7
1.4. Дозиметрическая оценка ингаляционной опасности и допустимый доз йода-131.....	8
2. Поле излучения радионуклидных источников различных геометрических форм	14
2.1. Точечный источник.....	14
2.2. Линейный источник.....	17
2.3. Прямоугольный источник.....	19
2.4. Объемный источник.....	22
3. Инструкция компьютерной программы	24
3.1. Основные характеристики программы.....	24
3.2. Работа с программой.....	24
3.3. Расчеты мощности поглощенной дозы.....	30
4. Приложение. Исходные данные компьютерной программы	33
Заключение	52
Список используемо литературы	53

ВВЕДЕНИЕ

Проблема защиты людей от воздействия радиоактивных изотопов йода занимает важное место среди проблем радиационной безопасности. Прежде всего это обусловлено многообразием причин, вследствие которых возникает опасность поступления радиоактивного йода в организм человека. К ним относятся:

1) аварии на ядерных реакторах и радиохимических предприятиях, которые могут сопровождаться высвобождением радиоактивных изотопов йода в окружающую среду;

2) ядерные взрывы;

3) нарушение техники безопасности при использовании радиоактивных изотопов йода (или соединений, меченных этими изотопами) в науке и технике, особенно в медицинской практике.

На практике редко встречаются источники излучения, которые вполне строго можно было бы назвать точечными источниками, — чаще всего они обладают определенными размерами. Такие источники принято называть протяженными. Необходимо, однако, заметить, что понятие «протяженный источник» является относительным: любой источник на достаточно большом расстоянии можно считать точечным, в то же время на близких расстояниях приходится считаться с его размерами и формой. Протяженные источники можно разделить на три основные группы в зависимости от пространственного распределения радиоактивного вещества — линейные, поверхностные и объемные. В отличие от точечных источников функция излучения любого протяженного источника зависит от его формы и размеров, а в случае объемных источников — от процессов поглощения и многократного рассеяния излучения в веществе самого источника. С точки зрения защиты наиболее характерной особенностью протяженных

источников является более сильное по сравнению. С точечным источником ослабление излучения в защитном экране,

В практике расчета защиты встречаются источники самых разнообразных форм (точечные, сферические, цилиндрические, плоские, линейные и др.), размеров и угловых распределений излучения (изотропные, мононаправленные, косинусоидальные и др.). Большое многообразие используемых источников создает известные трудности при расчете защиты и диктует необходимость выделения из их числа таких простых источников, по известному полю излучений, которых можно получить информацию о полях излучения более сложных источников.

Целью данной работы является расчетом мощности поглощенной дозы фотонного излучения с начальной энергией 0,364 МэВ в помещении и расчет на основе полученных данных, дозовых факторов накопления для радионуклидного источника I-131 различных геометрических форм.

1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОНУКЛИДНОГО ИСТОЧНИКА I-131

1.1. Классификация источников излучения

Объект, содержащий радиоактивный материал, или техническое устройство, испускающее или способное в определенных условиях испускать ионизирующее излучение, называется источником ионизирующего излучения. Современные ядерно-технические установки обычно представляют собой сложные источники излучений. Например, источниками излучений действующего ядерного реактора кроме активной зоны являются система охлаждения, конструкционные материалы, оборудование и т. п. Поле излучения таких реальных сложных источников обычно представляется как суперпозиция полей излучения отдельных более элементарных источников. Любой источник излучения характеризуется:

- 1) видом излучения;
- 2) геометрией источника (формой и размерами);
- 3) мощностью и ее распределением для протяженных источников;
- 4) энергетическим спектром;
- 5) временным распределением излучения;
- 6) угловым распределением излучения.

1.2. Образование и свойства радионуклидов йода-131

Природный йод состоит из одного стабильного изотопа I-127, содержание которого в земной коре составляет $3 \cdot 10^{-5}$ вес.%. Все радиоактивные изотопы йода искусственные, т. е. являются продуктами ядерных реакций. Среди различных физических способов образования

радиоiodа можно упомянуть реакции (n, γ), облучение сурьмы γ -частнцами и др. Однако наиболее важным является образование радиоизотопов йода в результате деления тяжелых ядер, так как именно этот процесс, происходящий в ядерных реакторах и при взрывах ядерных зарядов, первичный источник реального или потенциального загрязнения радиоiodом внешней среды, окружающей человека. С радиобиологических позиций, наибольший интерес представляют только изотопы йода с массовыми числами 131-135, имеющие периоды полураспада от 1 ч до 8 дней.

Таблица 1.1. Ионизирующее излучение изотопа йода-131

Изотоп йода	β -излучение		γ -излучение	
	МэВ	%	МэВ	%
131	0,807	0,39	0,722	3,0
	0,606	89,6	0,637	7,16
	0,334	7,23	0,364	81,2
	0,250	2,8	0,284	6,12
			0,080	0,74

Радиоизотоп I-131 распадаются с испусканием β -частиц и γ -квантов различной энергией. В таблице 1.1. представлены радиационные характеристики этого изотопа. Характеристики γ -излучения приведены по данным работы [2].

При сравнении I-131 с другими изотопами йода следует, что хотя изотопы I-132–135 имеют больший выход при делении и большую энергию β - и γ -излучений, но гораздо существенно оказывается различие в периодах полураспада. Поэтому с точки зрения радиационной опасности относительно долгоживущий I-131 является наиболее значимым изотопом йода.

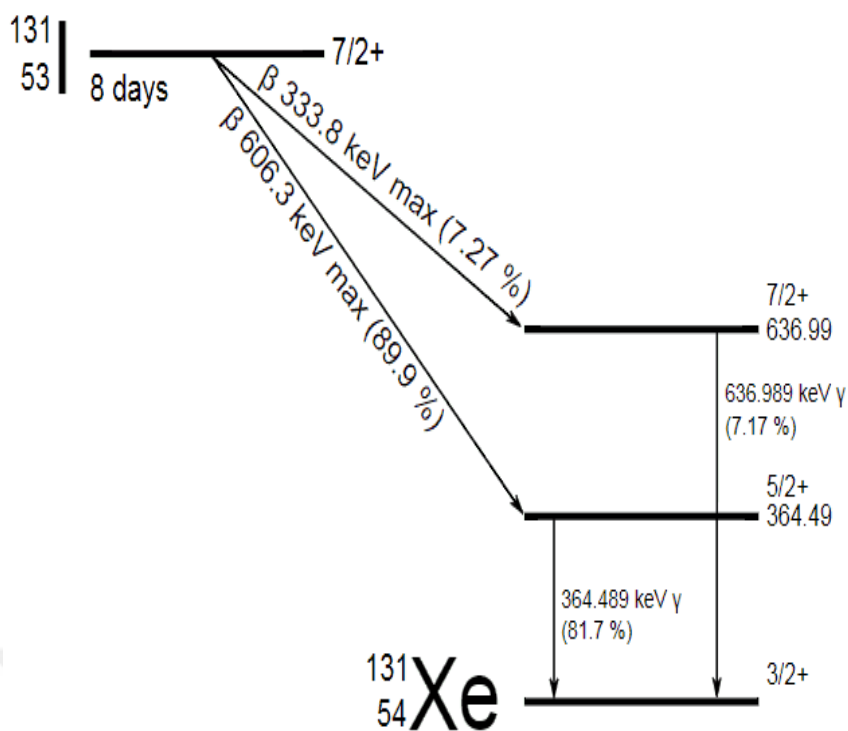


Рис 1.1. Схема полураспада I -131

1.3. Количественные характеристики обмена йода в организме человека

Йод-важный биоэлемент, без которого невозможно нормальное функционирование организма. Специфические особенности его определяются тем, что он входит в состав и структуру гормонов щитовидной железы. Именно это обстоятельство отличает обмен йода от обмена других галогенов. Схематически подразделить обмен йода в организме на три фазы:

- 1) претиреоидный обмен, т. е. всасывание и обмен иодид-иона до вступления его в состав гормона;
- 2) тиреоидный обмен, т. е. накопление иодида в щитовидной железе и его органическое связывание, синтез, хранение, секреция гормона в кровь;
- 3) посттиреоидный обмен - обмен гормоносвязанного йода, его превращения в тканях вновь в иодид-ион и поступление в кровь.

Таблица 1.2. Распределение йода в организме человека

Орган или ткань	Концентрация йода, мкг/г	Масса органа или ткани, г	Содержание йода в организме или ткани, мкг
Кровь	0,07	5400	380
Костный мозг	0,10	1500	150
Почки	0,20	300	60
Костная ткань	0,30	7000	2100
Желудочно-кишечный тракт	0,40	2000	800
Поджелудочная железа	0,50	70	35
Сердце	0,90	300	270
Мышцы	0,90	30000	27000
Яичники	0,90	8	7
Кожа и подкожная ткань	1,0	6100	6100
Щитовидная железа	350	20	7000

1.4. Дозиметрическая оценка ингаляционной опасности и допустимый доз йода-131

Из радиоактивных изотопов йода только йода-131 важно рассматривать в плане поступления с пищей. При ингаляционном пути поступления промежуток времени между высвобождением радиоиода и вдыханием его может быть достаточно мал. В связи с этим представляет интерес рассмотреть роль различных изотопов в облучении щитовидной железы и

дозиметрические параметры для расчета поглощенной дозы при ингаляционном поступлении.

Мощность дозы облучения радиоизотопом критического органа определяется простым соотношением:

$$\dot{D} = kE \frac{C}{m} \quad (1.1)$$

где C - содержание радиоизотопа в органе; m - масса органа; E - эффективная поглощенная энергия в органе на один распад; k - коэффициент, зависящий от размерности величин. В общем случае C меняется во времени. Поэтому доза облучения за время $\Delta t = t_0 - t_1$

$$D = k \frac{E}{m} \int_{t_1}^{t_0} C dt \quad (1.2)$$

Пронормировав C на единицу вдыхаемой активности, обозначим подынтегральную функцию $G(t)$ и назовем ее функцией удержания радиоизотопа в щитовидной железе. Приняв $t_1 = 0$, $t_2 = \infty$, получим

$$D = k \frac{E}{m} Q \int_0^{\infty} G(t) dt \quad (1.3)$$

В этом случае при любой конечной длительности ингаляционного поступления Q доза будет той же, как и при однократном поступлении, либо значение интеграла не зависит от распределения Q во времени, если полагать, что кинетика реакций транспорта и обмена йода в организме не зависит от количества поступившего радиоиода. Обозначим интеграл функции удержания буквой F и рассчитаем дозу по отношению

$$D = k \frac{E}{m} QF \quad (1.4)$$

где F имеет размерность времени, так что QF – полное число распадов радиоизотопа в щитовидной железе.

$$F = 0.75 \frac{\alpha}{(\alpha + \gamma + \lambda)(\beta + \lambda)} \quad (1.5)$$

Здесь $\frac{\alpha}{(\alpha + \gamma + \lambda)}$ – доля изотопа, поступающего в кровь и попадающего в щитовидную железу (обозначим ее f), а $(\beta + \lambda)$ – эффективная постоянная выведения изотопа из критического органа $\lambda_{эфф}$. В табл. 1.3. приведены результаты расчета по соотношению (1.5) при следующих значениях метаболических констант (ч^{-1}) $\alpha = 0,039$, $\beta = 0,00036$, $\gamma = 0,08$ [11]

Таблица 1.3. Доля вдыхаемой активности, поступающая в щитовидную железу ($0.75 f$), и эффективная длительность распада изотопа в щитовидной железе F

Изотоп	$\lambda, \text{ч}^{-1}$	$0.75 f$	$F = 0.75 \frac{f}{\lambda_{эфф}}$
I^{131}	0,0036	0,24	60,0

Если принять за единицу парциальный вклад йода-131 в общую дозу, то доза от i -го радиоизотопа йода

$$D_i = \frac{Q_i E_i F_i}{Q_{131} E_{131} F_{131}} \quad (1.6)$$

На рис. 1.2. представлен вклад различных изотопов в общую дозу облучения щитовидной железы в зависимости от длительности T работы реактора на постоянной мощности к моменту аварийного высвобождения радиоиода. Предполагается, что вдыхание происходит в начальный момент или вскоре после высвобождения, так что отношение Q_i/Q_{131} , такое же, как и соотношение активности изотопов в реакторе к моменту высвобождения.

Из рис. 1.2. видно, что при вдыхании смеси, накопленной до радиоактивного равновесия I^{131} (равновесная смесь, $T > 1000$ ч), вклад короткоживущих изотопов составляет 38%, но в случае более свежей смеси их вклад возрастает до 67,87 и 95% при T , равном 100, 10 и 1 к соответственно.

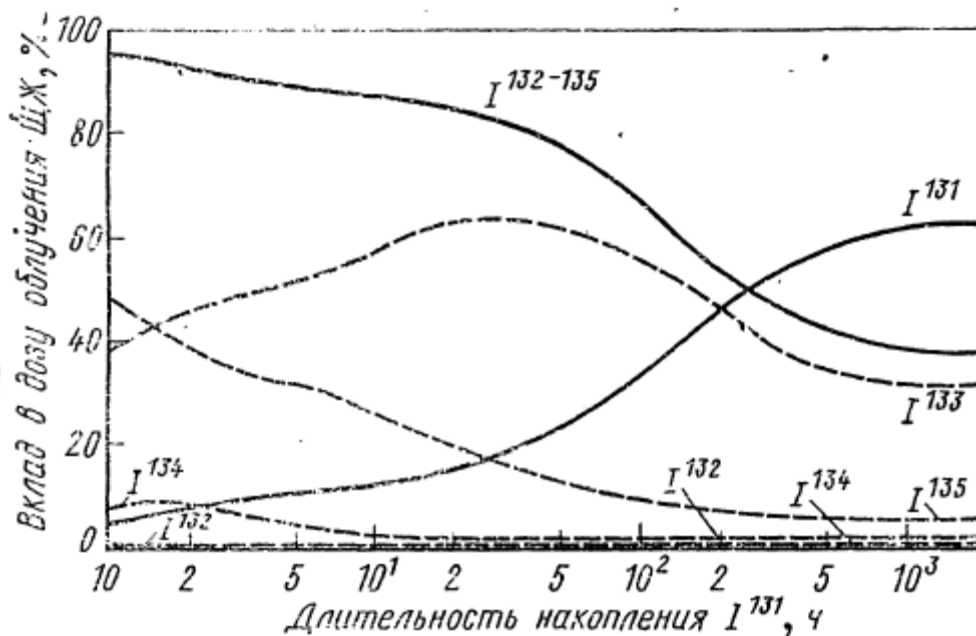


Рис 1.2. Вклад изотопов йода в ингаляционную опасность в зависимости от длительности накопления радиоиода при делении U^{235} тепловыми нейтронами

В общем случае Q_i/Q_{131} , определяется соотношением активности изотопов в момент высвобождения A_i/A_{131} к радиоактивному распадом их за время, прошедшее после высвобождения до вдыхания:

$$\frac{Q_i}{Q_{131}} = (A_i/A_{131}) \frac{e^{-\lambda_i t}}{e^{-\lambda_{131} t}} \quad (1.7)$$

Общая доза облучения щитовидной железы относится к парциальной дозе от I^{131} следующим образом:

$$\frac{D_{\Sigma}}{D_{131}} = 1 + \frac{1}{E_{131} F_{131}} \sum_{i=132}^{135} (A_i/A_{131}) E_i F_i e^{(\lambda_{131} - \lambda_i) t} \quad (1.8)$$

Это соотношение, строго говоря, справедливо при разовом (или кратковременном относительно периодов полураспада изотопов) вдыхании и допущении, что изобарические предшественники мода высвобождаются в меньшей степени по сравнению с йодом, так что накопление радиоиода в результате распада в воздухе и организме не существенно.

Знание закономерностей миграции йода во внешней среде позволяет определить степень радиационной опасности выброса радиоиода в атмосферу при нормальной эксплуатации соответствующих объектов (контролируемый выброс) и в случае аварии (аварийный выброс). Контролируемый выброс представляет собой поступление радиоиода в атмосферу при эксплуатации ядерных реакторов, заводов по переработке облученного ядерного топлива и установок по производству медицинских препаратов I^{131} . Согласно рекомендациям МКРЗ [7] критерием радиационной опасности для населения при контролируемом выбросе служат годовая доза облучения, годовое поступление радиоизотопа в организм, или среднегодовая концентрация изотопа в соответствующих объектах внешней среды. Практический интерес представляет определение радиационной опасности заданного среднегодового выброса (прямая задача) или определение среднегодовой мощности выброса, при которой не превышает заданный уровень опасности (обратная задача). По существу самого определения «контролируемый выброс» обратная задача является основной:

$$C \left(\frac{\text{кюри}}{\text{сутки}} \right) = 8,64 * 10^{-4} \frac{D}{365 D_B u M} \quad (1.9)$$

в расчете на ингаляционное поступление I^{131} в организм и

$$C \left(\frac{\text{кюри}}{\text{сутки}} \right) = 8,64 * 10^{-4} \frac{D}{D_{II} V T q_1 v_g \tau M} \quad (1.10)$$

в расчете на поступление I^{131} в организм с молоком.

Здесь D - предел дозы облучения щитовидной железы, рад/год; M - фактор разбавления выброса в атмосфере, сек/м³; v_g - скорость осаждения ¹³¹I, м/сек; τ - среднее время жизни ¹³¹I на растительном покрове пастбища, сек; q_1 - отношение концентрации ¹³¹I в молоке к плотности загрязнения территории ¹³¹I, $\frac{\text{кюри/л}}{\text{кюри/м}^2}$ т. е. м²/л; T - длительность сезона пастбищного кюри/м² содержания коров, сутки; V - потребление молока человеком, л/сутки; u - скорость легочной вентиляции, м³/сутки; D_B, D_{II} -доза облучения щитовидной железы на единицу поступления ¹³¹I с вдыхаемым воздухом или с пищей, рад/кдори; 365 - число дней в году; $8,64 \cdot 10^4$ - число секунд в сутках.

2. ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ

Радионуклиды как источники фотонного излучения широко используются в науке, промышленности, медицине. Источники на основе радионуклидов являются изотропными излучателями. Геометрические размеры и форма таких источников могут быть самыми разнообразными. По форме и размерам все источники можно разделить на точечные и протяженные: линейные, поверхностные, объемные. В большинстве случаев проектирования защиты приходится иметь дело с протяженными источниками. Понятие протяженный источникхватывает все источники, размерами которых при расчете защиты нельзя пренебрегать. В отличие от точечных источников поле излучения протяженных источников зависит от их формы и размеров, а в случае объемных источников –и от процессов поглощения (самопоглощения) и рассеяния излучения в веществе самого источника. Расчеты защиты от протяженных источников оказываются более сложными и трудоемкими, чем от точечных источников, поэтому разработаны специальные методы расчета защиты от протяженных источников.

Получим выражения для расчетов поля излучения фотонов на некотором расстоянии от точечного, линейного, плоского и радионуклидных источников для случая с учетом вклада рассеянного излучения, образующегося в защите.

2.1. Точечный источник

Размеры объема, в котором заключен источник, малы по сравнению с расстоянием между источником и точкой, где измеряется интенсивность поля излучения, а также по сравнению с длиной ослабления излучения материалом источника. Излучение точечного источника предполагается

изотропным в полном телесном угле 4π . Мощность источника обозначим S_0 , (единица измерения сек^{-1}). Плотность потока нерассеянных фотонов в точках P_1 с учетом ослабления нерассеянного излучения в защите толщиной d , равна соответственно:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi a^2} \exp(-\mu d) \quad (2.1)$$

где μ – линейный коэффициент ослабления фотонов. С учетом рассеянного излучения, возникающего в веществе защиты, имеем:

$$\varphi = \varphi_0 \exp(-\mu d) * B_N(E_0, \mu d) \quad (2.2)$$

где $B_N(E_0, \mu d)$ – числовой фактор накопления для точечного изотропного источника в барьерной геометрии. Если расстояние a измеряется в см, то размерность всех формул – (фотон/см²·с).

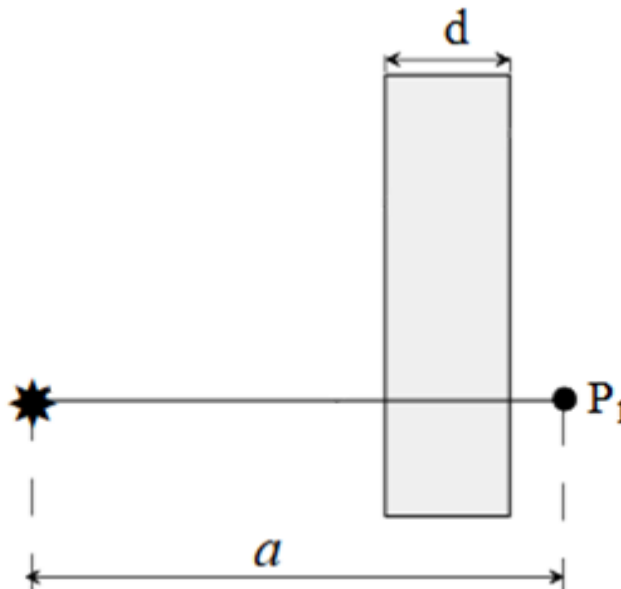


Рис. 2.1. Излучение точечного источника с учетом защиты

Мощность поглощенной дозы в воздухе связана с плотностью потока фсоотношением:

$$\begin{aligned} \dot{D} = \phi \cdot E_0 \mu_{\text{пог}}^{\text{воз}}(E_0) \left(\frac{\text{МэВ}}{\text{с} \cdot \Gamma} \right) \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{МэВ}} \right) \cdot 10^3 \left(\frac{\Gamma}{\text{кг}} \right) \times \\ \times 3,6 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{с}}{\text{ч}} \right) \cdot 10^6 \left(\frac{\text{мкГр}}{\Gamma\text{р}} \right) = 0,576 \phi \cdot E_0 \mu_{\text{пог}}^{\text{воз}}(E_0) \left(\frac{\text{мкГр}}{\text{ч}} \right) \end{aligned} \quad (2.3)$$

При известной мощности дозы в воздухе мощность эквивалентной дозы находится по соотношению

$$H = 1,09 w_T D \quad (2.4)$$

где w_T – взвешивающий коэффициент излучения.

Таблица 2.1. Взвешивающие коэффициенты w_T соматически и генетических последствий облучения

Орган или ткань	w_T
Гонады	0,25
Грудная железа	0,15
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Щитовидная железа	0,03
Костная поверхность	0,03
Все другие органы	0,30
Сумма	1,65

Если задана не мощность источника q , а его активность A в Бк, то, заменив в формулу

$$D = \frac{A}{4\pi * r^2} \sum_{i=1}^n n_i * E_{\gamma,i} * B_{D,i}(E_0, \mu d, Z) * \mu_{\text{пог},i}^{\text{БОЗ}}(E_0) * e^{-\mu(E_i)d}$$

$$= \frac{\Gamma_{\delta} * A}{r^2} * B_D(E_0, \mu d, Z) * e^{-\mu(E)d} \quad (2.5)$$

где D – мГр/с, Γ_{δ} – аГр. м²/(с. Бк)

2.2. Линейный источник

Источник содержится в области вблизи линии, причем поперечные размеры этой области малы по сравнению с расстоянием до точки детектирования и с длиной ослабления излучения в веществе источника. Мощностью источника считают скорость испускания излучения на единицу длины линии. Мощность линейного источника обозначим S_L , (единица измерения см⁻¹ .сек-1). Рассмотрим линейный непоглощающий источник, произвольно расположенный относительно защитного экрана толщиной μd , длиной L с линейной мощностью q_L фотон/(см с). Рассчитаем плотность потока фотонов в т. P_I , которая находится напротив центра источника (рис.2.2). Величина плотности нерассеянного потока в т. P_I от элемента источника dl с учетом защиты равна:

$$d\varphi = \frac{q_L dl}{4\pi a^2} \exp(-\mu d) \quad (2.6)$$

где $q_L dl$ (фотон/ с) – мощность источника с отрезка dl . Учитывая, что $dl = a d\theta$ выражение (2.5) можно записать в виде

$$d\varphi = \frac{q_L d\theta}{4\pi a} \exp(-\mu d) \quad (2.7)$$

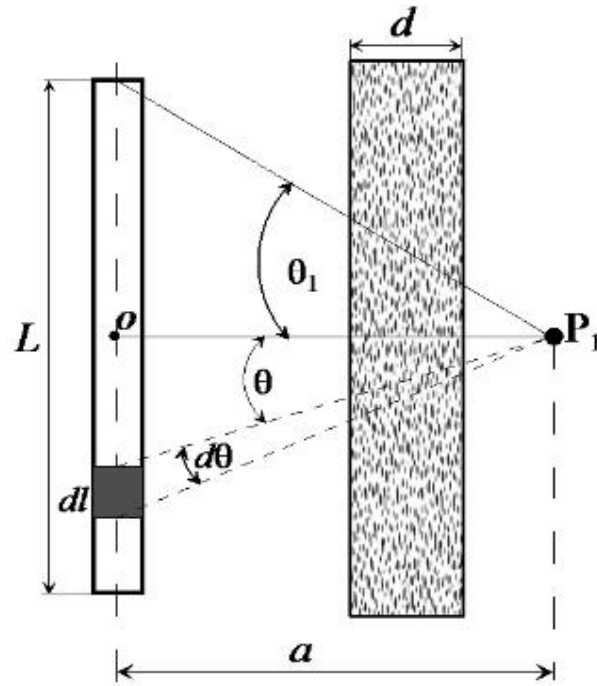


Рис. 2.2. К определению поля излучения линейного источника в т. P_1

Интегрируя (2.6) по θ от 0 до $\theta_1 = \arctg(L/2a)$ и умножая на 2, получим величину плотности потока нерассеянных фотонов в т. P_1 :

$$d\varphi = \frac{q_L}{2\pi a} F(\theta_1, \mu d) \quad (2.8)$$

где

$$F(\theta_1, \mu d) = \int_0^{\theta_1} \exp(-\mu d) d\theta = \int_0^{\theta_1} \exp(-\mu d \sec\theta) d\theta \quad (2.9)$$

—специальный интеграл (интегральный секанс, интеграл Зиверта), численные значения которого имеются в литературе (например, [7]).

В этом случае мощность дозы γ -излучения будет определяться выражением

$$D = \Gamma_\delta * A_l \int_L \frac{dl}{a^2 + l^2} \exp(-\mu d) \quad (2.10)$$

Используя подстановку $l = a \operatorname{tg} \theta$, получим

$$D = \frac{\Gamma_{\delta} * A_l}{a} \left(\int_0^{\theta_1} \exp(-\mu d \sec \theta) d\theta + \int_0^{\theta_2} \exp(-\mu d \sec \theta) d\theta \right) \quad (2.11)$$

$$D = \frac{\Gamma_{\delta} * A_l}{a} [F(\vartheta_1, \mu d) + F(\vartheta_2, \mu d)]$$

где D – мГр/с, Γ_{δ} – аГр. м²/(с. Бк)

Таким образом, при любом взаимном расположении линейного источника и защиты мощность дозы γ -излучения определяется функцией такого вида.

2.3. Прямоугольный источник

Материал источника распределен в области, толщина которой мала по сравнению с расстоянием от источника до точки, где измеряется интенсивность поля излучения, и самопоглощением в веществе источника можно пренебречь. Если толщина области есть δt , а объемная плотность источника — S_V , то мощность поверхностного источника есть $S_V \delta t$. Обозначим ее S_A (единица измерения см⁻³.сек⁻¹). Тогда для дифференциального элемента поверхности dA мощность соответствующего эффективного источника равна $S_A dA$.

При использовании источников γ -излучения прямоугольной формы необходимо знать характер ослабления γ -излучения в защите или окружающей среде. Для решения большинства практических задач наибольшее значение имеет случай прямоугольного источника конечных размеров.

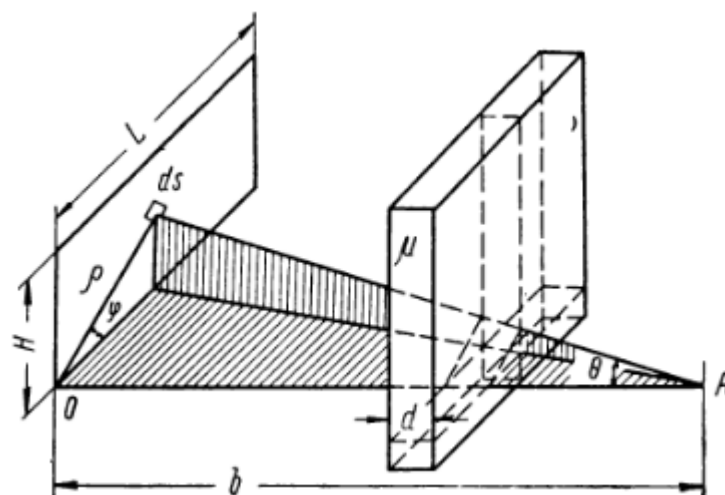


Рис. 2.3. Схема к расчету защиты от излучения прямоугольного источника

Мощность дозы γ -излучения в точке А на произвольном расстоянии b от плоскости источника за защитой толщиной d с коэффициентом поглощения γ -излучения μ определяется выражением

$$D = \Gamma_{\delta} * A_S \int_{\varphi} d\varphi \int_{\rho} \frac{\rho d\rho}{\rho^2 + b^2} \exp\left(-\mu d \frac{\sqrt{\rho^2 + b^2}}{b}\right) * B_D^{\text{бар.}}(E_0, \mu d, Z) \quad (2.12)$$

При интегрировании этого выражения необходимо учитывать, что верхний предел изменения ρ зависит от φ :

при

$$0 \leq \varphi \leq \text{arctg } H/L$$

$$0 < \rho < L \sec\varphi$$

при

$$\text{arctg } H/L \leq \varphi \leq \pi/2$$

$$0 < \rho < H \text{ cosec}\varphi$$

таким образом,

$$D = \Gamma_{\delta} * A_S * B_D^{\text{бар.}}(E_0, \mu d, Z) \left\{ \int_0^{\text{arctg } n} d\varphi \int_0^{\text{arctg}(m \sec \varphi)} \text{tg } \theta \exp(-\mu d \sec \theta) d\theta \right. \\ \left. + \int_{\text{arctg } n}^{\pi/2} d\varphi \int_0^{\text{arctg}(m n \text{ cosec } \varphi)} \text{tg } \theta \exp(-\mu d \sec \theta) d\theta \right\} \quad (2.13)$$

Здесь использована подстановка $\rho = b \text{tg } \theta$ и введены относительные параметры $n = H/L$ и $m = L/b$, причем параметр n характеризует отношение сторон прямоугольного источника, а m – относительное расстояние до заданной точки.

Выполняя в выражении (2.12) интегрирование по θ и используя интегрально-показательную функцию E , получим

$$D = \Gamma_{\delta} * A_S \left\{ \frac{\pi}{2} [-E(-\mu d)] \right. \\ \left. - \int_0^{\text{arctg } n} [-E(-\mu d \sqrt{1 + m^2 \sec^2 \varphi})] d\varphi \right. \\ \left. - \int_{\text{arctg } n}^{\pi/2} [-E(-\mu d \sqrt{1 + m^2 n^2 \text{ cosec}^2 \varphi})] d\varphi \right\} * B_D^{\text{бар.}}(E_0, \mu d, Z) = \\ = \Gamma_{\delta} * A_S \left\{ \frac{\pi}{2} [-E(-\mu d)] - J_1(m, n, \mu d) - J_2(m, n, \mu d) \right\} * B_D^{\text{бар.}}(E_0, \mu d, Z) = \\ = \Gamma_{\delta} * A_S * \Phi(m, n, \mu d) * B_D^{\text{бар.}}(E_0, \mu d, Z) \quad (2.14)$$

где D – мГр/с, Γ_{δ} – аГр. м²/(с. Бк)

В этом выражении первым слагаемым определяется мощность дозы от черты бесконечной плоскости, два других слагаемых дают в сумме мощность дозы от плоской фигуры, дополняющей прямоугольник до четверти бесконечной плоскости. Вычисленные значения интегралов в функции ослабления $\Phi(m,n,\mu d)$ для расчета защиты от излучения прямоугольных источников приведены в литературе[14].

2.3.Объемный источник

Источники объемной формы широко распространены на практике. Это, например, различные емкости с равноактивными веществами, трубопроводы, заполненные радиоактивной жидкостью, а в некоторых случаях к ним можно отнести и радиоактивные выбросы через трубы посредством вентиляции.

Для поля излучения объемных источников рассмотрим объемные самопоглощающие источники с равномерно распределенной объемной мощностью q_V с коэффициентами ослабления в материале источника $\mu_{\text{пог},s}$, и материале защиты μ . В данном случае для вывода функции ослабления используется объемная система координат с центром. Мощность дозы фотонного излучения в точке P в направлении в плоскости нижнего осевания самопоглощающего объемного источника(рис. 2.3.)

$$\dot{D} = \frac{\Gamma_{\delta} * A_V}{2\mu_{\text{пог},s}} \{G(m, n, \mu d, \mu_{\text{пог},s} h)\} * B_D^{\text{бар.}}(E_0, \mu d, Z) * \delta_s(E) \quad (2.15)$$

где $B_D^{\text{бар.}}(E_0, \mu d, Z)$ – дозовый фактор накопления для точечного изотропного источника в барьерной среде для материала источника и

защиты; $\delta_s(E)$ – поправка на барьерность среды для материала защиты, соответственно, для фотонов с энергией E . Значения функции $G(m, n, \mu d, \mu_{ног_s} h)$ даны в табл. 4.4 [15].

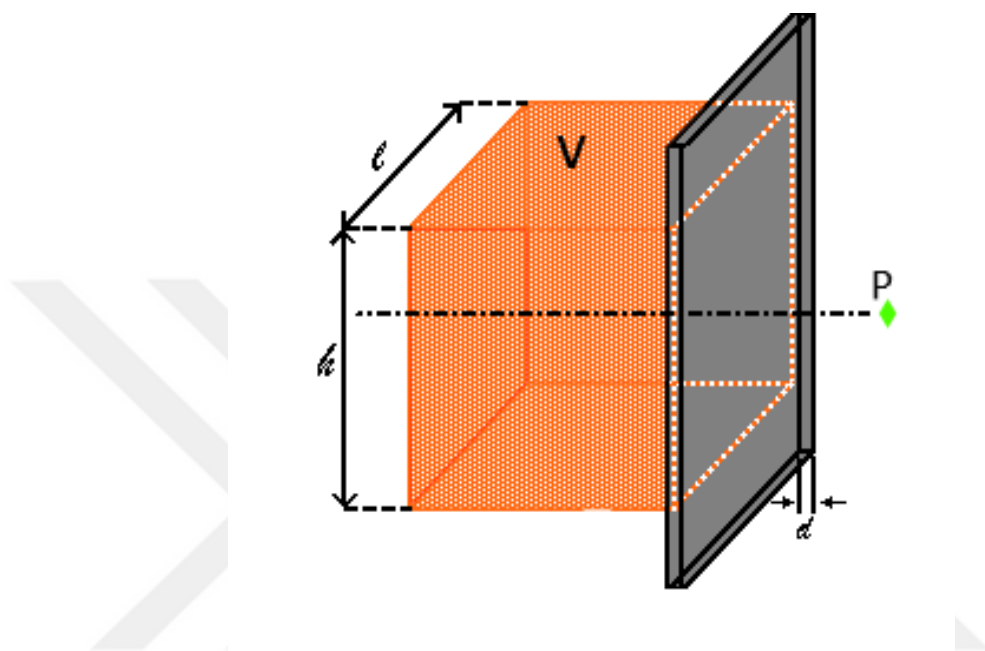


Рис. 2.4. Схема к расчету защиты от излучения объемного источника

3. ИНСТРУКЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ

3.1. Основные характеристики программы

Программа предназначена для моделирования распространения фотонов в бетонной защите, визуализации этих процессов распространения на экране дисплея и получения некоторых численных результатов взаимодействия. Программа позволяет также проводить численные эксперименты по моделированию различных геометрических форм фотонного излучения, при этом можно задавать геометрический тип источников и характеристики защиты. Программа создана на основе программы Visual Studio 2019 на программной языке C#.

3.2. Работа с программой

Программа состоит из нескольких режимов работы, каждый из которых предназначен для решения определенных задач: расчета характеристик излучения в барьерной геометрии.

1. Режим для точечного источника.

В данном режиме работы программа проводит моделирование процессов распространения фотонов для изотропного точечного источника с их визуализацией на экране дисплея. В этом режиме работы занимается радионуклидным источником йод-131. При распаде йода-131 образуются гамма кванты , в основном с энергией 364 кэВ. Детектор находится прямо посередине в барьерной геометрии. Защита выполнена из бетона плотностью 2,3 г/см³.

$A = 10^3$ ГБк – активность

$h = 50$ м – зазор

$d = 0.35$ м – толщина стенки

$x = 3$ м – высота комнаты

$y = 5$ м – ширина комнаты

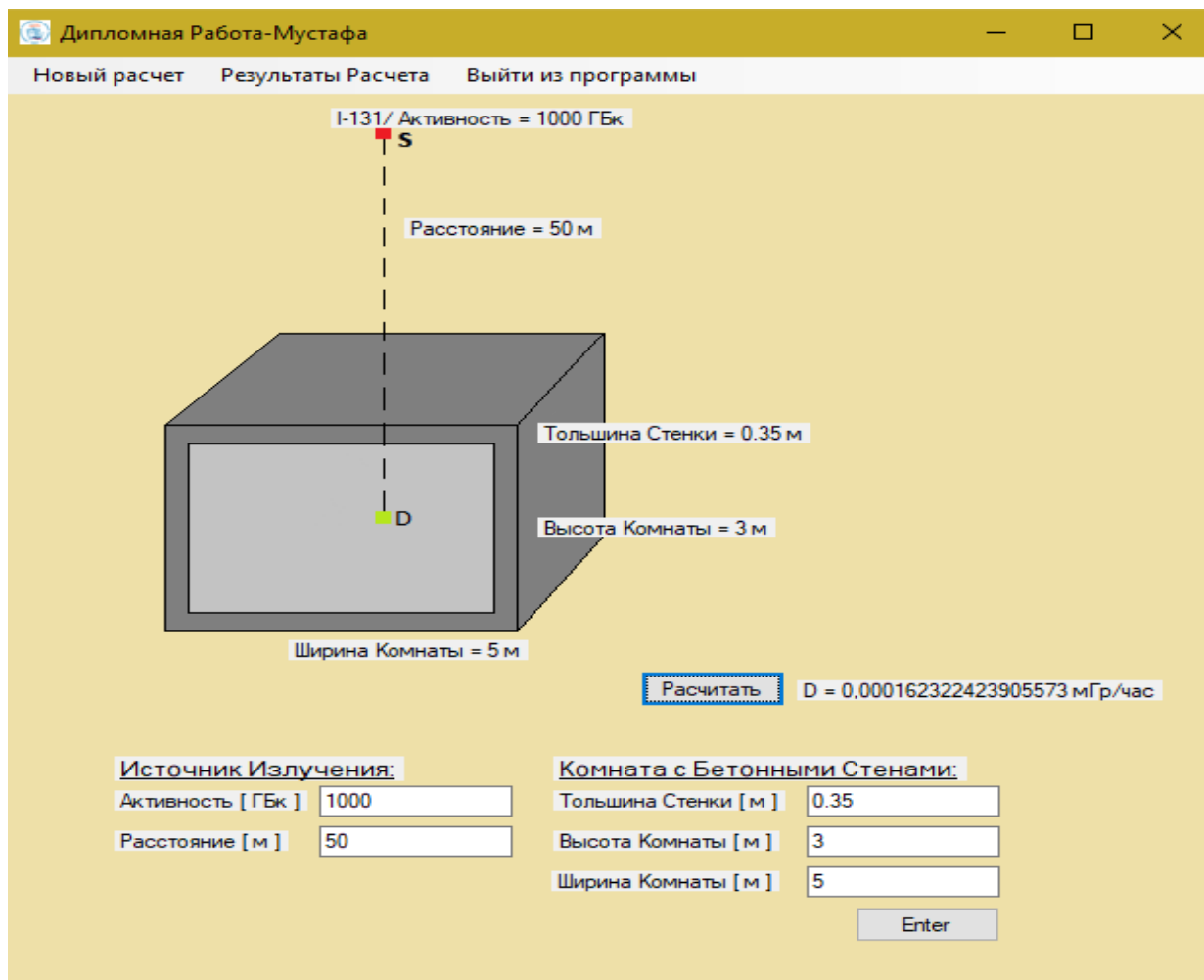


Рис. 3.1. Режим для точечного источника

На экран выводится расчет мощности поглощенной дозы за защитой. Учитывая, что гамма постоянная Γ_δ равна $13,54$ аГр.Бк/ m^2 .с, можно рассчитать мощность поглощенной дозы в един в детекторе D . Единица измерения мощности дозы мГр/час.

2. Режим для линейного источника.

В данном режиме работы программа проводит моделирование процессов распространения фотонов для линейного источника с их визуализацией на экране дисплея. Положение детектора соответствует

средней точке источника. Детектор находится прямо посередине в барьерной геометрии. Защита выполнена из бетона плотностью $2,3 \text{ г/см}^3$.

$L = 5 \text{ м}$ – длина источника

$A_l = 200 \text{ ГБк/м}$ – линейная активность

$h = 50 \text{ м}$ – зазор

$d = 0.35 \text{ м}$ – толщина стенки

$x = 3 \text{ м}$ – высота комнаты

$y = 5 \text{ м}$ – ширина комнаты

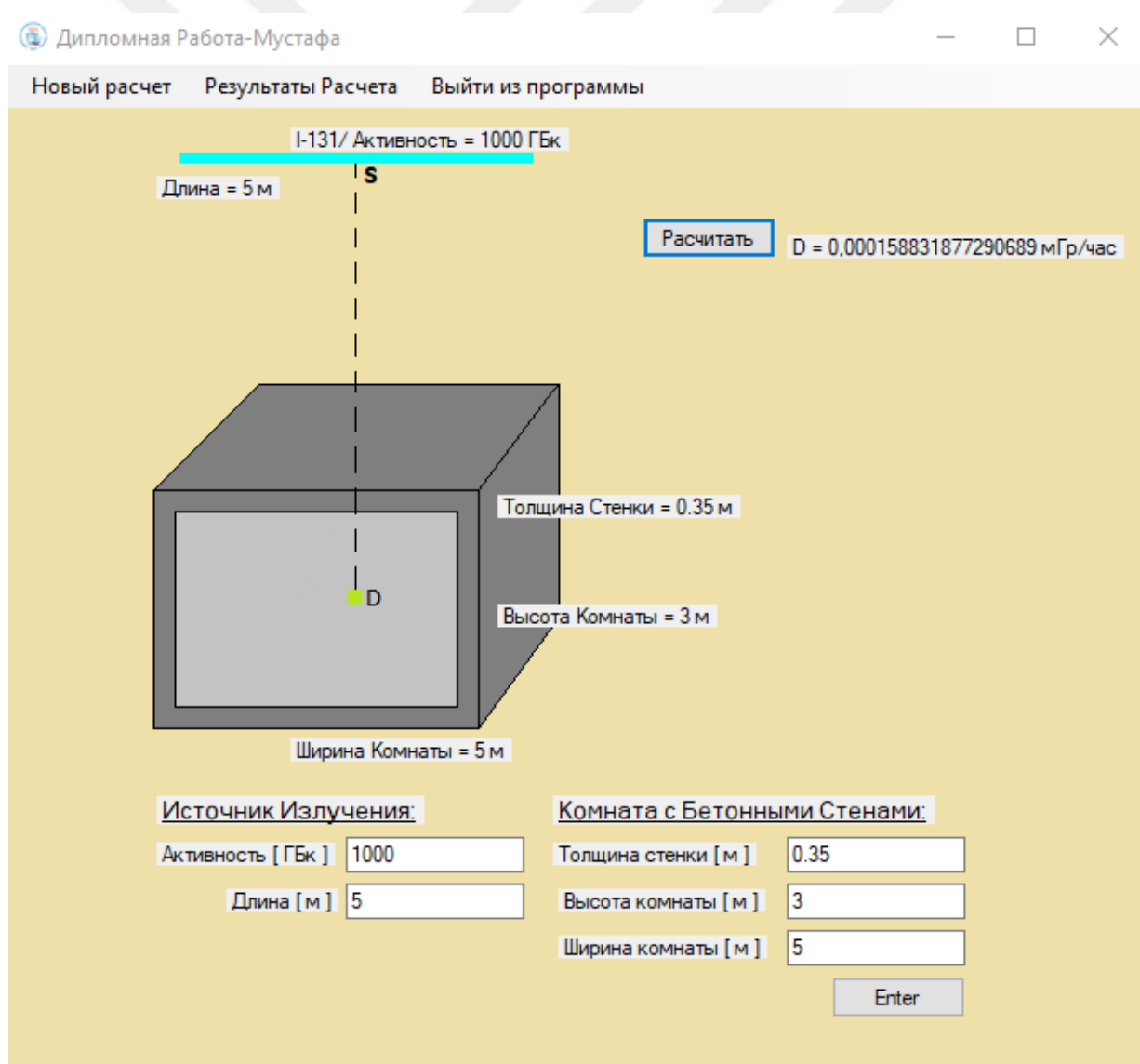


Рис. 3.2. Режим для линейного источника

На экран выводится расчет мощности поглощенной дозы за защитой. Учитывая, что гамма постоянная Γ_δ равна 13,54 аГр.Бк/м².с, можно рассчитать мощность поглощенной дозы в един в детекторе D . Единица измерения мощности дозы мГр/час.

3. Режим для прямоугольного источника

В данном режиме работы программа проводит моделирование процессов распространения фотонов для изотропного прямоугольного источника с их визуализацией на экране дисплея. При использовании источников γ -излучения прямоугольной формы необходимо знать характер ослабления γ -излучения в защите. Для решения практических задач наибольшее значение имеет случай прямоугольного источника конечных размеров. В данной работе рассматривается задача об ослаблении γ -излучения прямоугольного источника конечных размеров при предложений: активное вещество равномерно распределено по поверхности источника.

$H = 5$ м – ширина источника

$L = 5$ м – длина источника

$A_s = 40$ ГБк/м – поверхностная активность

$d = 0.35$ м – толщина стенки

$x = 3$ м – высота комнаты

$y = 5$ м – ширина комнаты

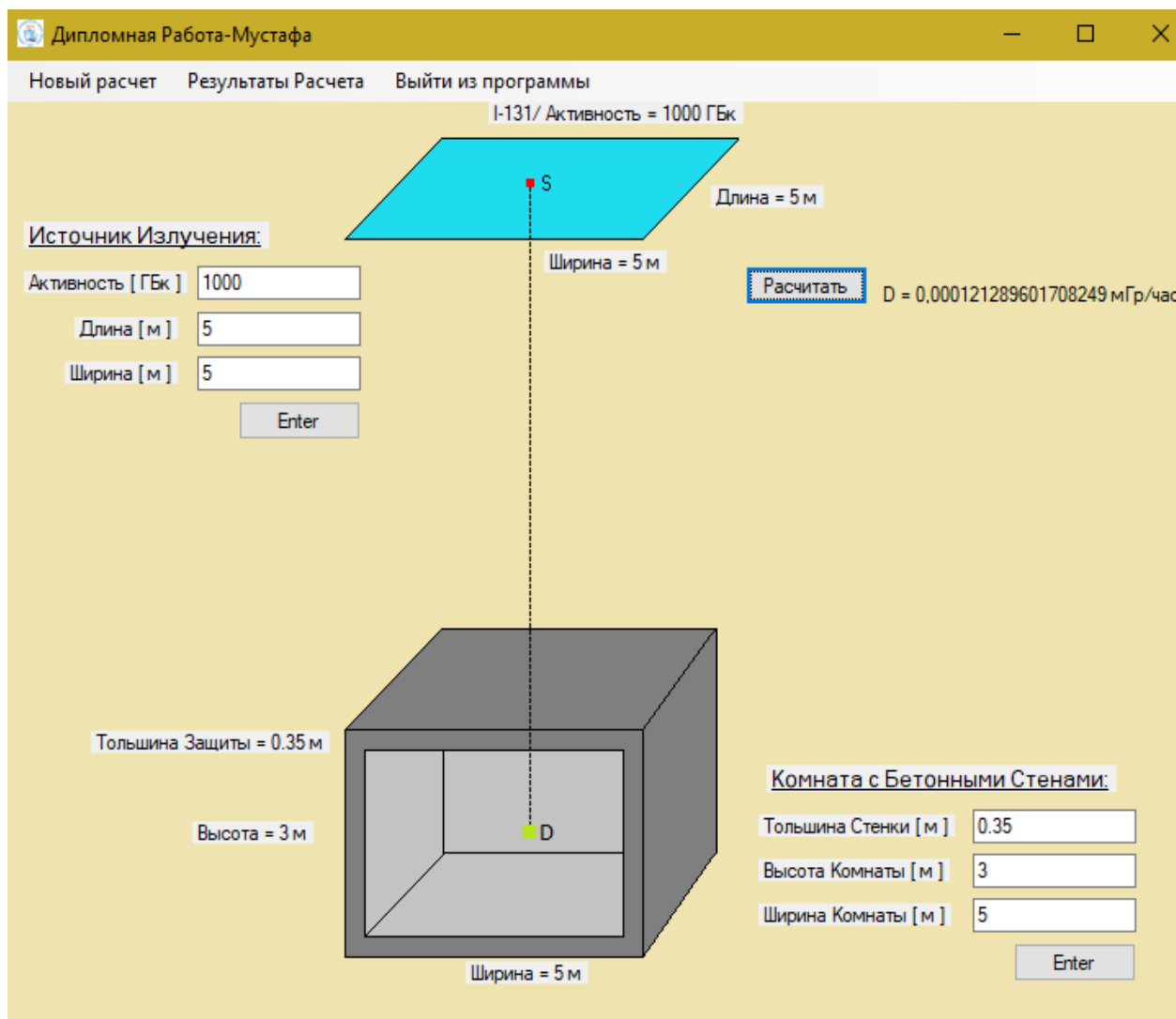


Рис. 3.3. Режим для прямоугольного источника

На экране показано значение мощности поглощенной дозы в детекторе D на произвольном расстоянии h от плоскости источника за защитой толщиной d с коэффициентом поглощения μ . Единица измерения мощности дозы мГр/час.

4. Режим для объемного источника

В данном режиме работы программа проводит моделирование процессов распространения фотонов для изотропного объемного источника с их визуализацией на экране дисплея. Расчет поля излучения таких источников является сложной задачей, так как кроме стандартных факторов

(геометрическая форма, размеры, энергия фотонов, удельная активность, расстояние до заданной точки, рассеяное излучение в защите) оно часто зависит также от самопоглощения и многократного рассеяния фотонов в самом источнике. Следует отметить, что ни одна из формул для определения поля излучения объемных источников не имеет аналитического решения и не сводится к стандартным табулированным интегралам. Для этих источников выведены специальные функции, численные значения которых получены из справочника[1].

$Z = 5$ м – ширина источника

$H = 5$ м – высота источника

$L = 3$ м – длина источника

$A_v = 13,3$ ГБк/м – объемная активность

$d = 0,35$ м – толщина стенки

$x = 3$ м – высота комнаты

$y = 5$ м – ширина комнаты

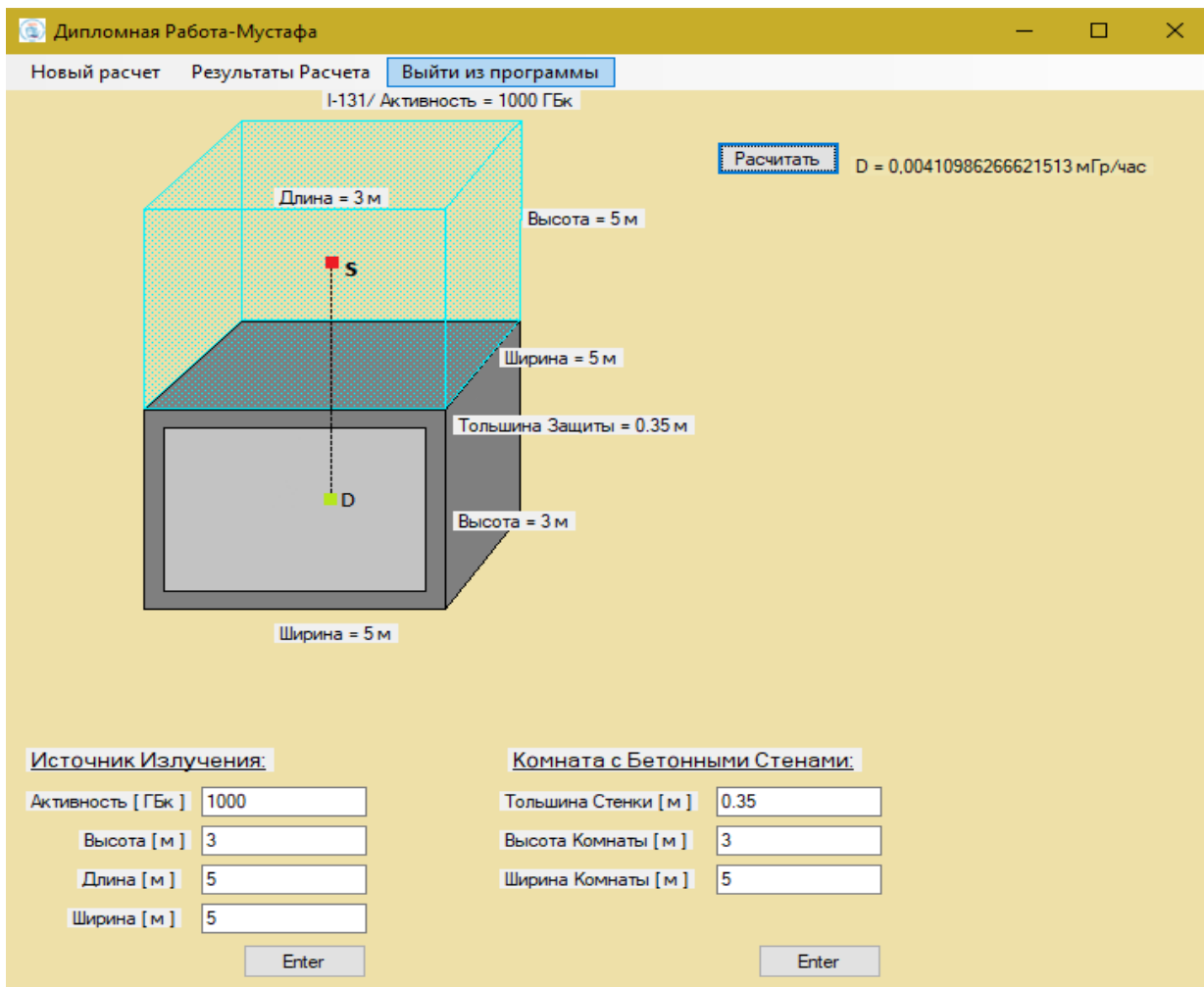


Рис. 3.4. Режим для объемного источника

На экране показано значение мощности поглощенной дозы в детекторе D на произвольном расстоянии h от плоскости источника за защитой толщиной d с коэффициентом поглощения μ . Единица измерения мощности дозы мГр/час.

3.3. Результаты расчетов мощности поглощенной дозы

Программа позволяет рассчитать значение мощности поглощенной дозы. Для проверки результаты расчетов по программе подвергаются сравнению с результатами расчетов по известным программам БРИЗ. Перечислим несколько задач, которые решались про помощи программы БРИЗ:

- Расчеты характеристик полей излучения в сложных геометриях. На основе результатов этих расчетов были для расчета защиты от излучения радионуклидного источника йода-131;
- Моделирование поля излучения радионуклидного источника йода-131 различных геометрических форм;
- Расчеты некоторые коэффициенты и значения (керма-постоянная радионуклида, коэффициенты ослабления фотонов, дозовый фактор накопления), характеризующих закономерности распространения излучения в среде.

Нуклиды	Гк (керма-постоянная), аГр · м²/с · Бк	Гк (гамма-постоянная), азв · м²/с · Бк
1 I-131	14,19	15,47

Рис. 3.4. Керма-постоянная радионуклида по программе БРИЗ

Материал	Плотность, г/см³	Энергия фотонов, МэВ	μm (массовый), см²/г	μ (линейный), 1/см
Бетон	2,35	0,364	1,01e-01	2,36e-01

Рис. 3.5. Коэффициент ослабления фотонов в бетоне по программе БРИЗ

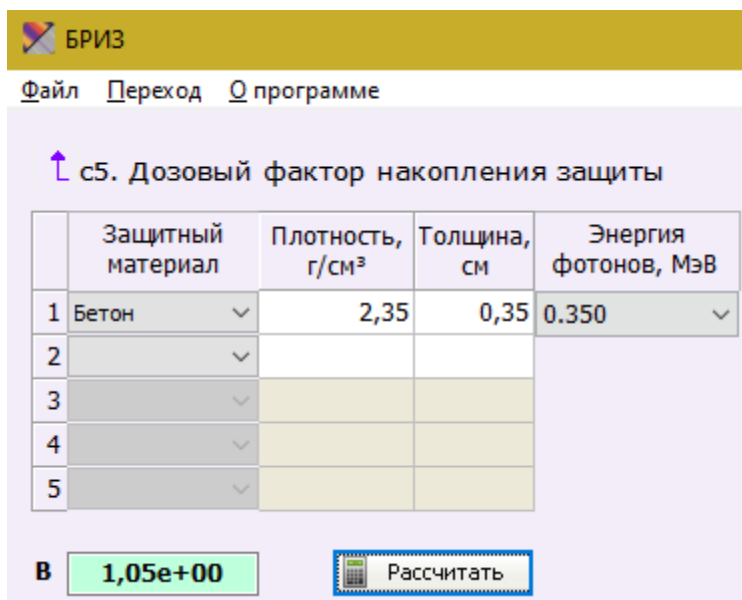


Рис. 3.6. Дозовый фактор накопления по программе BRIZ

Таблица 3.1. Оценка мощности поглощенной дозы для разных геометрических форм, [мГр/час]

Геометрия источника	Программа	BRIZ
Точечный	1.62e-04	В+ мГр/ч 1,58e-04
Линейный (L = 5 м)	1.34e-04	В+ мГр/ч 1,56e-04
Прямоугольный (S = 5x5 м ²)	1.21e-04	В+ мГр/ч 1,54e-04
Объемный (V = 5x5x3 м ³)	4.11e-03	В+ мГр/ч 3,06e-03

4. Приложение. Исходные данные компьютерной программы

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;

namespace mustafa_diplom
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            button1.Visible = false;
        }

        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            button1.Visible = true;
            if (textBox1.Text.Length == 0 & textBox2.Text.Length == 0 &
                textBox3.Text.Length == 0 & textBox4.Text.Length == 0 & textBox5.Text.Length
                == 0 == true)
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
                    MessageBoxButtons.OK,
                    MessageBoxIcon.Warning);
            }
            if (textBox2.Text.Length == 0 == true)
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
                    MessageBoxButtons.OK,
                    MessageBoxIcon.Warning);
            }
            if (textBox3.Text.Length == 0 == true)
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
                    MessageBoxButtons.OK,
                    MessageBoxIcon.Warning);
            }
            if (textBox4.Text.Length == 0 == true)
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
                    MessageBoxButtons.OK,
                    MessageBoxIcon.Warning);
            }
        }
    }
}
```

```

    }
    if (textBox5.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }

    int parsedValue;
    if (!int.TryParse(textBox1.Text, out parsedValue))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue1;
    if (!int.TryParse(textBox2.Text, out parsedValue1))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    double parsedValue2;
    if (!double.TryParse(textBox3.Text, out parsedValue2))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue3;
    if (!int.TryParse(textBox4.Text, out parsedValue3))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue4;
    if (!int.TryParse(textBox5.Text, out parsedValue4))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
        return;
    }

    else
    {
        label1.Text = "I-131/ Активность = " + textBox1.Text + "
ГБк";
        label2.Text = "Расстояние = " + textBox2.Text + " м";
        label3.Text = "Толщина Стенки = " + textBox3.Text + "
м";
    }

```

```

        label4.Text = "Высота Комнаты = " + textBox4.Text + "
М";
        label5.Text = "Ширина Комнаты = " + textBox5.Text + "
М";

    }
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Random random = new Random();
    double radian = random.Next(-45, 45) * (Math.PI) / 180;
    double kerma = 14.19;
    double x_1 = Int32.Parse(textBox1.Text) * 1e+9;
    int x_2 = Int32.Parse(textBox2.Text);
    double x_3 = double.Parse(textBox3.Text);
    int x_4 = Int32.Parse(textBox4.Text);
    int x_5 = Int32.Parse(textBox5.Text);
    double uzaklık = x_2 + x_3 + (x_4 / 2);
    double поглощение = 2.97e-02;
    double ослабление = 2.36e-01;
    double faktor_nakopleniye = 26;

    double Result = ослабление * x_3 / Math.Cos(radian1);

    double Result_1 = uzaklık / Math.Cos(radian);

    double num1 = (x_1 * kerma / (Math.Pow(Result_1, 2)) * 0.365
* 0.576 * Math.Exp(-Result) * поглощение * faktor_nakopleniye) * 1e-015 *
3600;

    double Мощность = num1;

    label36.Text = "D = " + Мощность*100 + " мГр/час";
}

private void выйтиИзПрограммыToolStripMenuItem_Click(object
sender, EventArgs e)
{
    System.Windows.Forms.Application.Exit();
}

private void новыйРасчетToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
{
    System.Windows.Forms.Application.Restart();
}

private void сохранитьToolStripMenuItem_Click(object sender,

```

```

EventArgs e)
    {

System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");
        System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Desktop\mustafa-diplom",
label36.Text + "\n");

System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");

System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");

    }

    private void сохранитьВExcelToolStripMenuItem_Click(object
sender, EventArgs e)
    {
        Microsoft.Office.Interop.Excel.Application xla = new
Microsoft.Office.Interop.Excel.Application();
        Workbook wb = xla.Workbooks.Add(XlSheetType.xlWorksheet);
        Worksheet ws = (Worksheet)xla.ActiveSheet;

        xla.Visible = true;

        ws.Cells[28, 2] = label36.Text;
    }
}
}

```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;

namespace lineyniy
{
    public partial class Form1 : Form
    {

```

```

public Form1()
{
    InitializeComponent();
    button1.Visible = false;
}

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    button1.Visible = true;
    if (textBox1.Text.Length == 0 & textBox2.Text.Length == 0 &
    textBox3.Text.Length == 0 & textBox4.Text.Length == 0 & textBox5.Text.Length
    == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    if (textBox2.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    if (textBox3.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    if (textBox4.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    if (textBox5.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }

    int parsedValue;
    if (!int.TryParse(textBox1.Text, out parsedValue))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue1;
    if (!int.TryParse(textBox2.Text, out parsedValue1))

```

```

    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    double parsedValue2;
    if (!double.TryParse(textBox3.Text, out parsedValue2))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue3;
    if (!int.TryParse(textBox4.Text, out parsedValue3))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue4;
    if (!int.TryParse(textBox5.Text, out parsedValue4))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
        return;
    }

    else
    {
        label1.Text = "I-131/ Активность = " + textBox1.Text + "
ГБк";
        label2.Text = "Длина = " + textBox2.Text + " м";
        label3.Text = "Толщина Защиты = " + textBox3.Text + " м";
        label4.Text = "Высота = " + textBox4.Text + " м";
        label5.Text = "Ширина = " + textBox5.Text + " м";
    }
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Random random = new Random();
    double radian = random.Next(-45, 45) * (Math.PI) / 180;

    double kerma = 14.19;
    double x_1 = Int32.Parse(textBox1.Text) * 1e+9;
    int x_2 = Int32.Parse(textBox2.Text);
    double x_3 = double.Parse(textBox3.Text);
    int x_4 = Int32.Parse(textBox4.Text);
    int x_5 = Int32.Parse(textBox5.Text);
}

```

```

        double uzaklık = x_2 + x_3 + (x_4 / 2);
        double поглощение = 2.97e-02;
        double ослабление = 2.36e-01;
        double faktor_nakopleniye = 26;

        double Result = ослабление * x_3 / Math.Cos(radian1);

        double Result_1 = uzaklık / Math.Cos(radian);

        double num1 = (x_1 * kerma / (Math.Pow(Result_1, 2)) * 0.365 *
0.576 * Math.Exp(-Result) * поглощение * faktor_nakopleniye) * 1e-015 *
3600;

        double Мощность = num1;
        label36.Text = "D = " + Мощность*10 + " мГр/час";
    }

    private void выйтиИзПрограммыToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        System.Windows.Forms.Application.Exit();
    }

    private void сохранитьВExcelToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        Microsoft.Office.Interop.Excel.Application xla = new
Microsoft.Office.Interop.Excel.Application();
        Workbook wb = xla.Workbooks.Add(XlSheetType.xlWorksheet);
        Worksheet ws = (Worksheet)xla.ActiveSheet;

        xla.Visible = true;

        ws.Cells[1, 6] = "Полный Мощность Поглощенной Дозы";
        ws.Cells[2, 6] = label36.Text;
    }

    private void загрузитьToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        Form2 frm = new Form2();
        frm.Show();
    }

    private void сохранитьToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {

```

```

System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt",
label36.Text + "\n");

System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");

System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");

    }

    private void новыйРасчетToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        System.Windows.Forms.Application.Restart();
    }
}
}

```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;
using Rychusoft.NumericalLibraries.Integral;

namespace poverhnostniy
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            button1.Visible = false;
        }

        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (textBox1.Text.Length == 0 == true)
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",

```

```

        MessageBoxButtons.OK,
        MessageBoxIcon.Warning);
    }
    if (textBox2.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    if (textBox6.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    int parsedValue;
    if (!int.TryParse(textBox1.Text, out parsedValue))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue1;
    if (!int.TryParse(textBox2.Text, out parsedValue1))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue6;
    if (!int.TryParse(textBox6.Text, out parsedValue6))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    else
    {
        label1.Text = "I-131/ Активность = " + textBox1.Text + "
ГБк";
        label41.Text = "Длина = " + textBox6.Text + " м";
        label2.Text = "Ширина = " + textBox2.Text + " м";
    }
}
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (textBox3.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
}

```

```

}
if (textBox4.Text.Length == 0 == true)
{
    MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
        MessageBoxButtons.OK,
        MessageBoxIcon.Warning);
}
if (textBox5.Text.Length == 0 == true)
{
    MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
        MessageBoxButtons.OK,
        MessageBoxIcon.Warning);
}

double parsedValue2;
if (!double.TryParse(textBox3.Text, out parsedValue2))
{
    MessageBox.Show("Это поле только для номера");
    return;
}
int parsedValue3;
if (!int.TryParse(textBox4.Text, out parsedValue3))
{
    MessageBox.Show("Это поле только для номера");
    return;
}
int parsedValue4;
if (!int.TryParse(textBox5.Text, out parsedValue4))
{
    MessageBox.Show("Это поле только для номера.", "Ошибка",
        MessageBoxButtons.OK,
        MessageBoxIcon.Warning);
    return;
}
int parsedValue5;
if (!int.TryParse(textBox6.Text, out parsedValue5))
{
    MessageBox.Show("Это поле только для номера");
    return;
}

else
{
    label3.Text = "Толщина Защиты = " + textBox3.Text + " м";
    label4.Text = "Высота = " + textBox4.Text + " м";
    label5.Text = "Ширина = " + textBox5.Text + " м";
}

```

```

    }
    button1.Visible = true;
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    double lowerLimit = -5;
    double upperLimit = 5;
    double lowerLimit_1 = -5;
    double upperLimit_2 = 5;
    string asd = "x*y";

    Integral integral = new Integral(asd, lowerLimit, upperLimit);

    Random random = new Random();
    double radian = random.Next(-45, 45) * (Math.PI) / 180;
    double kerma = 14.19;
    double x_1 = Int32.Parse(textBox1.Text) * 1e+9;
    int x_2 = Int32.Parse(textBox2.Text);
    double x_3 = double.Parse(textBox3.Text);
    int x_4 = Int32.Parse(textBox4.Text);
    int x_5 = Int32.Parse(textBox5.Text);
    double uzaklık = x_2 + x_3 + (x_4 / 2);
    double поглощение = 2.97e-02;
    double ослабление = 2.36e-01;
    double фактор_накопления = 26;

    double Result = ослабление * x_3 / Math.Cos(radian1);

    double Result_1 = uzaklık / Math.Cos(radian);

    double num1 = (x_1 * kerma / (Math.Pow(Result_1, 2)) * 0.365 *
0.176 * Math.Exp(-Result) * поглощение * фактор_накопления) * 1e-12 * 3600;

    double Мощность = num1 ;
    label36.Text = "D = " + Мощность/40 + " мГр/час";
}

private void новыйРасчетToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
{
    System.Windows.Forms.Application.Restart();
}

```

```

        private void сохранитьToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt",
label36.Text + "\n");

System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");

System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");
        }

        private void сохранитьВExcelToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            Microsoft.Office.Interop.Excel.Application xla = new
Microsoft.Office.Interop.Excel.Application();
            Workbook wb = xla.Workbooks.Add(XlSheetType.xlWorksheet);
            Worksheet ws = (Worksheet)xla.ActiveSheet;

            xla.Visible = true;

            ws.Cells[1, 6] = "Полный Мощность Поглощенной Дозы";
            ws.Cells[2, 6] = label36.Text;
        }

        private void загрузитьToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            Form2 frm = new Form2();
            frm.Show();
        }

        private void выйтиИзПрограммыToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
        {
            System.Windows.Forms.Application.Exit();
        }
    }

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;

```

```

using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Data.OleDb;

namespace poverhnostniy
{
    public partial class Form2 : Form
    {
        public Form2()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            OpenFileDialog openFileDialog1 = new OpenFileDialog();

            if (openFileDialog1.ShowDialog() ==
System.Windows.Forms.DialogResult.OK)
            {
                this.textBox1.Text = openFileDialog1.FileName;
            }
        }
        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            string PathConn = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data
Source=" + textBox1.Text + ";Extended Properties =\"Excel 8.0;HDR =
Yes;\";";
            OleDbConnection conn = new OleDbConnection(PathConn);

            OleDbDataAdapter myDataAdapter = new OleDbDataAdapter("Select *
From[" + textBox2.Text + "$]", conn);
            DataTable dt = new DataTable();

            myDataAdapter.Fill(dt);

            dataGridView1.DataSource = dt;
        }
    }
}

```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using Microsoft.Office.Interop.Excel;
using System.IO;
using Rychusoft.NumericalLibraries.Calculator;
using Rychusoft.NumericalLibraries.Common;
using Rychusoft.NumericalLibraries.Derivative;
using Rychusoft.NumericalLibraries.Integral;

namespace mustafa_diplom
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            button1.Visible = false;
        }

        private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
        {

            if (textBox2.Text.Length == 0 == true )
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
                    MessageBoxButtons.OK,
                    MessageBoxIcon.Warning);
            }
            if (textBox3.Text.Length == 0 == true)
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
                    MessageBoxButtons.OK,
                    MessageBoxIcon.Warning);
            }
            if (textBox4.Text.Length == 0 == true)
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
                    MessageBoxButtons.OK,
                    MessageBoxIcon.Warning);
            }
            if (textBox5.Text.Length == 0 == true)
            {
                MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",

```

```

        MessageBoxButtons.OK,
        MessageBoxIcon.Warning);
    }

    int parsedValue;
    if (!int.TryParse(textBox1.Text, out parsedValue))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue1;
    if (!int.TryParse(textBox2.Text, out parsedValue1))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    double parsedValue2;
    if (!double.TryParse(textBox3.Text, out parsedValue2))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue3;
    if (!int.TryParse(textBox4.Text, out parsedValue3))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue4;
    if (!int.TryParse(textBox5.Text, out parsedValue4))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
        return;
    }
    int parsedValue5;
    if (!int.TryParse(textBox6.Text, out parsedValue5))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue6;
    if (!int.TryParse(textBox7.Text, out parsedValue6))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }

```

```

else
{
    label3.Text = "Толщина Защиты = " + textBox3.Text + " м";
    label4.Text = "Высота = " + textBox4.Text + " м";
    label5.Text = "Ширина = " + textBox5.Text + " м";

}
button1.Visible = true;
}
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (textBox1.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    if (textBox6.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    if (textBox7.Text.Length == 0 == true)
    {
        MessageBox.Show("Введите все значения.", "Ошибка",
            MessageBoxButtons.OK,
            MessageBoxIcon.Warning);
    }
    int parsedValue;
    if (!int.TryParse(textBox1.Text, out parsedValue))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue5;
    if (!int.TryParse(textBox6.Text, out parsedValue5))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
    int parsedValue6;
    if (!int.TryParse(textBox7.Text, out parsedValue6))
    {
        MessageBox.Show("Это поле только для номера");
        return;
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        label11.Text = "I-131/ Активность = " + textBox1.Text + " ГБк";
        label41.Text = "Высота = " + textBox6.Text + " м";
        label42.Text = "Длина = " + textBox7.Text + " м";
        label2.Text = "Ширина = " + textBox2.Text + " м";
    }
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    double lowerLimit = -5;
    double upperLimit = 5;
    double lowerLimit_1 = -5;
    double upperLimit_2 = 5;
    string asd = "x*y";

    Integral integral = new Integral(asd, lowerLimit, upperLimit);
    double result = integral.ComputeIntegral();

    Random random = new Random();
    double radian = random.Next(-45, 45) * (Math.PI) / 180;
    double radian24 = random.Next(-45, 45) * (Math.PI) / 180;
    double kerma = 14.19;
    double x_1 = Int32.Parse(textBox1.Text) * 1e+9;
    int x_2 = Int32.Parse(textBox2.Text);
    double x_3 = double.Parse(textBox3.Text);
    int x_4 = Int32.Parse(textBox4.Text);
    int x_5 = Int32.Parse(textBox5.Text);
    double uzaklık = x_2 + x_3 + (x_4 / 2);
    double поглощение = 2.97e-02;
    double ослабление = 2.36e-01;
    double faktor_nakopleniye = 26;

    double Result = ослабление * x_3 / Math.Cos(radian1);
    double Result_1 = uzaklık / Math.Cos(radian);

    double num1 = (x_1 * kerma / (Math.Pow(Result_1, 2)) * 0.365 *
0.176 * Math.Exp(-Result) * поглощение * faktor_nakopleniye) * 1e-12 * 3600;

    double Мощность = num1;
    label36.Text = "D = " + Мощность + " мГр/час";
}

private void выйтиИзПрограммыToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)

```

```

    {
        System.Windows.Forms.Application.Exit();
    }

    private void новыйРасчетToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        System.Windows.Forms.Application.Restart();
    }

    private void сохранитьToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt",
label36.Text + "\n");

        System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");

        System.IO.File.AppendAllText(@"C:\Users\Public\TestFolder\text1.txt", "\n");

    }

    private void сохранитьВExcelToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        Microsoft.Office.Interop.Excel.Application xla = new
Microsoft.Office.Interop.Excel.Application();
        Workbook wb = xla.Workbooks.Add(XlSheetType.xlWorksheet);
        Worksheet ws = (Worksheet)xla.ActiveSheet;

        xla.Visible = true;

        ws.Cells[1, 6] = "Полный Мощность Поглощенной Дозы";
        ws.Cells[2, 6] = label36.Text;
    }

    private void загрузитьToolStripMenuItem_Click(object sender,
EventArgs e)
    {
        Form2 frm = new Form2();
        frm.Show();
    }

    private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
    {

```

```

    }
}
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Data.OleDb;

namespace mustafa_diplom
{
    public partial class Form2 : Form
    {
        public Form2()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            OpenFileDialog openFileDialog1 = new OpenFileDialog();

            if (openFileDialog1.ShowDialog() ==
System.Windows.Forms.DialogResult.OK)
            {
                this.textBox1.Text = openFileDialog1.FileName;
            }
        }

        private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            string PathConn = "Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data
Source=" + textBox1.Text + ";Extended Properties =\"Excel 8.0;HDR =
Yes;\";";
            OleDbConnection conn = new OleDbConnection(PathConn);

            OleDbDataAdapter myDataAdapter = new OleDbDataAdapter("Select *
From[" + textBox2.Text + "$]", conn);
            DataTable dt = new DataTable();

            myDataAdapter.Fill(dt);
            dataGridView1.DataSource = dt;
        }
    }
}

```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатами работы являются:

1. Анализ литературных данных по данной теме.
2. Создана модель для численного моделирования основных видов источников.
3. Проведен численный анализ поля излучения фотонов радионуклидного источника I-131 различных геометрических форм за бетонной защитой.
4. Получены результаты расчетов для источников различных геометрических форм. Для решения задачи используются методы, основанные на макроскопических константах, характеризующих закономерности распространения излучения в среде. Отдельно рассчитывается каждая компонента излучения соответствующим методом.
5. Дана оценка вклада рассеянного излучения с использованием различные эмпирических (инженерных) методов.
6. Проведено сравнение результаты расчетов по двум разным программам.

Список используемо литературы

1. Машкович В. П., Кудрявцева А. В. Защита от ионизирующих излучений: Справочник – 4-е изд. – Москва: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
2. Watson E. C., Biology of Radioiodine, Oxford, 1964.
3. Н.Г. Гусев, В.А. Беляев Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник – 2-е изд. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
4. В. П. Машкович, А. М. Панченко Основы радиационной безопасности: Учебное пособие для вузов. –Москва: энергоатомиздат, 1990. -176 с.
5. Slade D.H., Meterology and atomic energy, Air Resources Laboratory, ESSA, 1968.
6. Л. А. Илбин Радиоактивный иод в проблеме радиационной безопасности / Москва : Атомиздат, 1972. - 270 с
7. Иванов В.И. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих из-лучений / В.И.Иванов, В.А.Климанов, В.П.Машкович. –4-е изд., пере-раб. и доп. –Москва: Энергоатомиздат, 1992. –256с
8. Труды ИБРАЭ РАН / Выпуск 11 : Вопросы радиоэкологии / С. В. Панченко Оценка коллективной дозы на щитовидную железу жителей Белгородской области . — 2009. — 444 с.
9. Н. Г. Гусев Защита от ионизирующих излучений: Учебник для вузов в 2 т. – 3-е изд. – Москва: энергоатомиздат, 1989
- 10.В.В. Болятко., В.М. Демин, В.В. Евланов, А.И. Ксенофонтов Основы экологиии охраны окружающей среды: учебное пособие для вузов - Москва : МИФИ, 2008. - 319 с.
- 11.Lengemann F. W. Health Phys., 12, No. 6, 825, (1966)

- 12.Руководство по радиационной защите для инженеров / Сокр. пер. с англ. Под ред. Д. Л. Бродера [и др.]. - Москва : Атомиздат.Т.2. - 1973. - 288 с.
- 13.Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите : учебное пособие / В.И. Бес-палов ; Томский политехнический университет. – 5-е изд., рас-шир. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 695 с.
- 14.А.К. Гуськова, И.А. Галстян, И.А. Гусев. Авария Чернобыльской атомной станции (1986–2011 гг.): последствия для здоровья, размышления врача. Под общей редакцией члена-корр. РАМН А.К. Гуськовой. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2011. — 187 с.
- 15.Микшевич Н. В. Радиационная безопасность: учеб. пособие по курсу «Основы радиационной безопасности» / Н. В. Микшевич, Л. А. Ковальчук; ФГБОУ ВО «Урал. гос. пед. ун-т». – Екатеринбург, 2016. – 182с.
- 16.Н. Г. Гусев, Е. Е. Ковалев, Д. П. Осанов, В. И. Попов Защита от излучения протяженных источников / Москва : Атомиздат, 1961. - 291 с.
- 17.Бродер Д. Л. И др. Биологическая защита транспортных реакторных установок. Изд. 2-е. М., Атомиздат, 1969.