

УДК 621.02

**КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИСТАНЦИОННОГО
ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ****Мустафа Эль Х. М. Таха***Институт изучения изотопных излучений, г. Хартум, Судан*

Поступила в редакцию 15 сентября 2010 г.

Принята 28 октября 2010 г.

Рассмотрена задача комплексной оптимизации процесса дистанционного гамма-облучения. Предложены формализованные модели процесса. Указаны управляющие факторы, выбор значений которых обеспечивает получение заданных доз облучения при минимальном побочном влиянии процесса. Предложенный метод позволяет обеспечить более благоприятные условия лечения за счет более совершенной схемы облучения, количества и расположения приборов облучения, а также применения экранных диафрагм и более точного выбора мест их установки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гамма-облучение, гамма-терапия, комплексная оптимизация, интенсивность облучения, биообъект.

**КОМПЛЕКСНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДИСТАНЦІЙНОГО
ГАММА-ОПРОМІНЕННЯ****Мустафа Эль Х. М. Таха***Институт вивчення ізотопних випромінювань, м. Хартум, Судан*

Розглянута задача комплексної оптимізації процесу дистанційного гамма-опромінення. Запропоновані формалізовані моделі процесу. Вказані управляючі фактори, вибір значень яких забезпечує отримання заданих доз опромінення при мінімальному побічному впливі процесу. Запропонований метод дозволяє забезпечити більш сприятливі умови лікування за рахунок більш досконалої схеми опромінення, кількості й розміщення приладів опромінення, а також використання екранних діафрагм і більш точного вибору місць їх встановлення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: гамма-опромінення, гамма-терапія, комплексна оптимізація, інтенсивність опромінення, біооб'єкт.

COMPLEX OPTIMIZATION OF THE REMOTE GAMMA-IRRADIATION PROCESS**Mustafa M. E. TAHA***Radiation and Isotopes Center of Khartoum (RICK), Sudan*

The problem of complex optimization of the remote gamma-irradiation process was considered. The formalized model of the process was proposed. The control factors were indicated. The selection of values of the factors provides obtaining of the given irradiation doses under the minimum side effect. The proposed method allows to provide the more favourable conditions at the expense of more complete irradiation scheme, number and arrangement of the irradiation equipment, and also using of screen diaphragm and more accurate selection of its placing.

KEY WORDS: gamma-irradiation, gamma-therapy, complex optimization, intensity of irradiation, biological object.

Дистанционное гамма-облучение является одним из распространенных способов лечения ряда болезней различной природы [1, 2]. Его применение во многих случаях является безальтернативным. Однако, не смотря на все достоинства этого метода, он обладает рядом недостатков, одно из которых – побочное вредное влияние на соседние органы. На сегодняшний день выявлены и используются многие средства, уменьшающие этот недостаток: постановка экранов, использование многоцентровости, переход на дискретно-непрерывную организацию облучения и другие. Множество возможностей управления процессом обуславливает потребность в его оптимизации. Несмотря на множество публикаций по вопросам совершенствования процесса гамма-

терапии [3, 4] до сих пор не поставлена и не решена задача комплексной оптимизации этого процесса.

Цель данной работы – формализованная постановка и определение подхода к решению задачи комплексной оптимизации при дистанционной гамма-терапии.

В формализованной постановке задача полной оптимизации условий гамма-облучения локальных участков биологических объектов может быть сформулирована следующим образом.

Имеется локальный участок биообъекта, форма которого в системе координат, проходящей через его геометрический центр, может быть описана уравнением

$$\vec{r}_l = \vec{r}_l(u, v), \quad (1)$$

где \vec{r}_l - радиус-вектор точки локального участка биообъекта; u, v - параметры.

Форма объекта в координатной форме описывается в виде

$$\begin{aligned} x_l &= x_l(u, v) \\ y_l &= y_l(u, v), \\ z_l &= z_l(u, v) \end{aligned} \quad (2)$$

где $x_l = x_l(u, v), y_l = y_l(u, v), z_l = z_l(u, v)$ - декартовы координаты точки.

Каждая точка этого участка должна получать дозу (РДД) в пределах номинального значения с нижним и верхним отклонением соответственно: $[\Delta D]^-$ и $[\Delta D]^+$. Разность $\Delta(\Delta D) = [\Delta D]^+ - [\Delta D]^-$ представляет тот диапазон, в пределах которого доза варьируется.

Каждый микроучасток объемом $\Delta v_l = \Delta x_l \cdot \Delta y_l \cdot \Delta z_l$ локального участка биообъекта является поглощающим при гамма-терапии. Более удаленные от точек входа пучка в локальный участок биообъекта точки получают уменьшенную дозу облучения на величину

$$\Delta I = I_{\text{вх}} - I_{\text{вых}}, \quad (3)$$

где $I_{\text{вх}}$ и $I_{\text{вых}}$ интенсивность облучения в точке входа в локальный участок биообъекта и выхода из него соответственно.

Если величину интенсивности облучения I оценивать по зависимости

$$I_i = A_i \frac{1}{R^2}, \quad (4)$$

где $A_i - i \in \{1, 2\}$ коэффициент, характеризующий поглощающую среду (биообъект и его окружение); R – расстояние от центра излучения до расчетной точки, то, с учетом поглощения излучения средой и биообъектом интенсивности облучения в точках входа и выхода луча можно записать следующим образом

$$I_{\text{ex}} = A_1 \frac{1}{R_{\text{ex}}^2} \quad (5)$$

$$I_{\text{вхл}} = \frac{A_2}{(R_{\text{ex}} + h)^2} + \frac{(A_1 - A_2)}{R_{\text{ex}}^2}, \quad (6)$$

где R_{ex} – расстояние от центра излучения до точки входа луча; h – высота локального биообъекта по направлению радиуса.

Если величина ΔI , рассчитанная по зависимости (3) больше $\Delta(\Delta D)$, т.е. если

$$I_{\text{ex}} - I_{\text{вхл}} > \Delta(\Delta D) \quad (7)$$

то применением одноцентрового метода облучения нельзя достичь требуемого эффекта воздействия.

Очевидно, в этом случае требуется применение либо многоцентрового облучения, либо метода, связанного с изменением параметров установки центра облучения. Одноцентровый метод в принципе не может быть применим, если размеры локального участка биообъекта таковы, что выполняется условие (7) при воздействии лучем со всех направлений. В пространстве за локальным участком биообъекта могут находиться смежные органы, облучение которых также должно ограничиваться по интенсивности и по дозе.

В пространстве за локальным участком биообъекта интенсивность будет изменяться следующим образом

$$I_{\text{за}} = \frac{A_1}{(R_{\text{ex}} + h + l)^2} - \left[\frac{1}{(R_{\text{ex}} + h)^2} - \left(\frac{A_2}{(R_{\text{ex}} + h)^2} + \frac{(A_1 - A_2)}{R_{\text{ex}}^2} \right) \right], \quad (8)$$

где l – расстояние от точки выхода луча из объекта до рассматриваемой точки.

Если рассчитанное по формуле (8) значение интенсивности будет находиться в пределах

$$I_{\text{за}} < [\Delta I]^+ \quad (9)$$

то процесс облучения может быть осуществлен. В противном случае следует изменить схему процесса.

Выполнение условия (9) требует усиления выполнения условия (7) невышления предельно допустимой дозы.

Зная интенсивность в каждой точке локального биообъекта, можно рассчитать дозу облучения. Поскольку интенсивность традиционных источников облучения является достаточно стабильной, значение поглощенной дозы можно рассчитать следующим образом:

$$PDD = \Delta t \cdot \iiint_v I_l(R_{\text{ex}}) dv, \quad (10)$$

где Δt – продолжительность времени облучения; v – объем участка;

$$I_l = \frac{A_2}{(R_{\text{ex}} + l)^2} + \frac{(A_1 - A_2)}{R_{\text{ex}}^2}, \quad (11)$$

где l – расстояние от точки входа до текущей точки $R_{\text{ex}} + l = \vec{r}_l$.

Этот расчет позволяет определить объемную дозу облучения:

$$РДД < [РДД] \quad (12)$$

В случае невыполнения условия (12) следует изменить факторы, определяющие дозу. Согласно (10) с учетом (2) устанавливаются время облучения, интенсивность источника излучения, его расстояние относительно объекта облучения, а также свойства облучаемых участков.

Для ограничения вредного влияния пучка облучения, проекции которого на охватываемую сферу не совпадают с проекциями локального участка облучения, следует применять экранные диафрагмы. Формы их выступов и впадин должны соответствовать конфигурации проекций участков. На рисунке 1 показан образец такой диафрагмы. Диафрагма представляет собой сосуд 1 с фасонным внутренним контуром 3, заполненный свинцовым порошком (мелкой дробью) 2.



Рис.1. Образец экранной диафрагмы.

ВЫВОДЫ

Предложенный метод комплексной оптимизации процесса дистанционного гамма-облучения локального участка биообъекта позволяет обеспечить более благоприятные условия лечения за счет более совершенной схемы облучения, количества и расположения приборов облучения, а также применения экранных диафрагм и более точного выбора мест их установки.

Для полной оптимизации процесса следует разработать формализованный алгоритм определения учитываемых факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khan Faiz M. The Physics of Radiation Therapy, Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore, MD, 2003.
2. IAEA International Atomic Energy Agency, Review of Radiation Oncology Physics, A Handbook for Teacher and Students, Educational Report Series, Viena, May 2003.
3. Levitt S.H., Purdy J.A., Perez C.A., Vijayakumar S. Technical Basis of Radiation Therapy: Practical Clinical Applications, 4th Edition, Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
4. Jacob Van Dyk, The modern technology of radiation oncology. Madison, Wisconsin, 1999.