

УДК 52.088

Объемное фракционирование доз в низкоатомной среде при облучении нейтронами высоких энергий

О.А. Акаткин, О.А. Кулиш, О.В. Петрова

Предложена и с помощью математической модели обоснована методика объемного фракционирования доз, поглощенных в низкоатомной среде при облучении сканирующими пучками нейтронов высоких энергий.

PACS 87.53 Bn; 02.30.Hg

Ключевые слова: низкоатомная среда, нейтроны, облучение, объемное фракционирование доз, математическое моделирование.

Введение

Под объемным фракционированием доз, поглощенных в низкоатомных средах при облучении нейтронами высоких энергий, понимают такое формирование их распределений, при котором в приповерхностных областях среды они резко неравномерны и достаточно равномерны на глубине. Параметрами, определяющими его качество, являются коэффициенты неравномерности дозного поля в пределах этих областей [1]. Так как известные технические устройства [2] для модуляции пучков нейтронов не применимы, то возможность объемного фракционирования доз существенно ограничена.

Целью данной работы являлось обоснование с помощью математической модели предложенной авторами методики объемного фракционирования доз в таких средах при облучении сканирующими пучками нейтронов высоких энергий.

Обоснование методики

На рис. 1 представлена схема изучаемого процесса. Видно, что пучок нейтронов 1, имеющий радиус R_0 в его сечениях у поверхности и R на глубине, сканирует со скоростью V и смещается с шагом скважности ΔS в среде 2 в области ABCD, с поверхностью которой связана цилиндрическая Орфз система координат.

Для заданных условий облучения по данным [3, 4] оценивали нормированные к приповерхностным значениям распределения доз в пределах

этих полей по направлениям Op_1 и Op_2 центральных сечений АВ и СД объема среды на уровнях поверхностей и нескольких глубин. Затем в сечениях АВ вдоль направлений Op_1 аппроксимировали эти распределения [5] дифференциальными уравнениями в виде

$$\frac{dD}{d\rho} = \kappa D(k_0 - D),$$

где D — дозы, ρ — текущие координаты вдоль направлений Op_1 (при $0 < \rho \leq R$, $0 < D < k_0$), κ и k_0 — параметры.

После очевидного преобразования получаем выражение

$$\frac{dD}{D(k_0 - D)} = \kappa d\rho,$$

которое интегрировали по следующей форме:

$$\int \frac{dD}{D(k_0 - D)} = \kappa d\rho + C.$$

Так как неопределенный интеграл можно представить в виде

$$\int \frac{dD}{D(k_0 - D)} = -\frac{1}{k_0} \ln \frac{D}{k_0 - D},$$

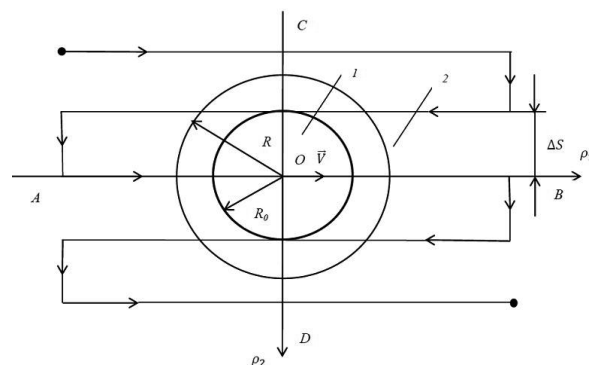


Рис. 1. Схема облучения низкоатомной среды сканирующим пучком нейтронов

Акаткин Олег Александрович, профессор.
Кулиш Ольга Александровна, ст. преподаватель.
Петрова Ольга Владимировна, преподаватель.
Филиал Военной академии связи.
Россия, 350065, г. Краснодар, ул. Красина, 4.
Тел.: 89615213577. E-mail: culish_olga@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10 декабря 2013 г.

© Акаткин О.А., Кулиш О.А., Петрова О.В., 2014

то общие решения можно представить в виде соотношения:

$$\frac{1}{k_0} \ln \frac{D}{k_0 - D} + \frac{1}{k_0} \ln k_1 = \kappa \rho.$$

После преобразований получали явное выражение для доз:

$$D = k_0 \left[1 + \frac{k_1}{k_0} \exp(-k_0 \kappa \rho) \right]^{-1}$$

Полученное выражение можно представить в обобщенной форме как

$$D = K_0 [1 + K_1 \exp(-K_2 \rho)]^{-1},$$

где $C = -\frac{1}{k_0} \ln k_1$ — постоянные интегрирования,

$K_0, K_1 = \frac{k_1}{k_0}, K_2 = \kappa \cdot k_0$ — обобщенные параметры.

Значения параметров определяли из соотношений:

$$K_0 = \sup D(\rho_0, \varphi_0; C_z); (\rho_0, \varphi_0) \in D(f).$$

$$K_1 = K_0 - \inf D(\rho_0, \varphi_0; C_z); (\rho_0, \varphi_0) \in D(f).$$

$$K_2 = \rho^{-1} \left(\ln \left(K_1 \left(\frac{K_0}{D} - 1 \right) \right) \right)^{-1}$$

где (ρ, φ_0) — координаты, C_z — уровни глубин в среде.

Аналогично, в сечениях СД вдоль направлений Op_2 аппроксимировали распределения доз дифференциальными уравнениями:

$$\frac{dD}{d\rho} = -\kappa D \rho,$$

которые также интегрировали

$$\int \frac{dD}{D} = -\int \kappa \rho d\rho.$$

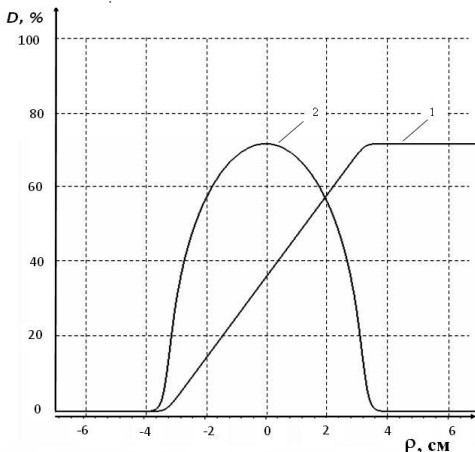


Рис. 2. Распределения поглощенных доз в сечениях АВ (1) и СД (2) объема среды (вода) на глубине $C_z = 5$ см при облучении сканирующим (без смещения) пучком нейтронов $W_n = 14$ МэВ.

Общие их решения имели вид

$$\ln |D| = -k^* \rho^2 + \ln C_2,$$

представляемые в виде зависимостей:

$$D = k_0 \exp(-k^* \rho^2).$$

Решения также представляли в обобщенной форме:

$$D = K_0 \exp(-K_3 \rho^2),$$

где k^* и $k_0 = \ln C_2$ — параметры, C_2 — постоянные интегрирования, $K_0, K_3 = k^*$ — обобщенные параметры.

Значения параметров определяли из соотношений:

$$K_0 = \max D(\rho, \varphi; C_z); (\rho, \varphi) \in D(f).$$

$$K_3 = \rho^{-2} \ln \left(\frac{K_0}{D} \right).$$

Здесь (ρ, φ) — координаты, C_z — уровни глубин в среде.

Обобщенными решениями моделировали распределения поглощенных доз [6] в центральных сечениях АВ и СД объема низкоатомной среды в пределах указанных полей, и на их основе рассчитывали изодозные карты в сечениях СД этого объема при облучении сканирующими пучками нейтронов по соотношениям. В результате имели следующий алгоритм:

$$D = \sum_{k=1}^N K_0 \exp \left(-K_3 (\rho - \Delta S)^2 \right)_k,$$

где N — число шагов смещения пучка, ΔS — их скважности.

Результаты моделирования

На рис. 2 даны распределения доз в центральных сечениях АВ (график 1) и СД (график 2) объема такой среды (вода) на глубине $C_z = 5$ см

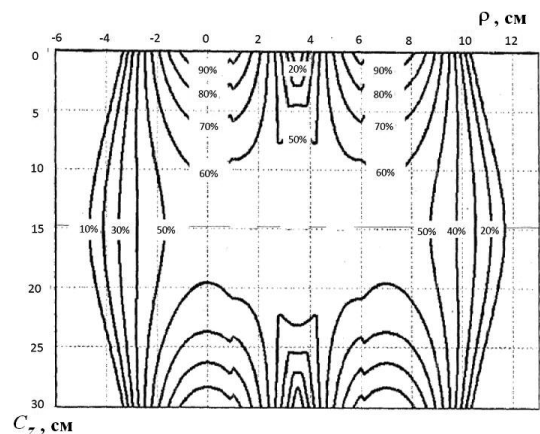


Рис. 3. Карта распределений поглощенных доз в сечении СД объема среды (вода) при облучении сканирующими (со смещением) пучками нейтронов $W_n = 14$ МэВ с двух встречных направлений.

от поверхности. Они получены при ее облучении сканирующим (без смещения) пучком нейтронов с энергиями $W_n = 14$ МэВ с одного направления при расстоянии источник—поверхность $z_0 = 35$ см и при радиусе входного поля $R_0 = 3$ см.

На рис. 3 дана карта распределений доз в сечении СД объема этой среды (вода) толщиной $L = 30$ см при облучении при тех же условиях сканирующими (со смещением) пучками нейтронов с двух встречных направлений при скважности шагов $\Delta S = 7$ см.

Из рис. 3 видно, что распределения доз в приповерхностных областях среды при значениях $20\% < D < 90\%$ резко неравномерны. Коэффициенты неравномерности дозного поля варьируют в пределах $1,2 < \gamma < 4,5$. При этом центральная ее область на глубинах $10 \text{ см} < C_z < 20 \text{ см}$ практически равномерно охвачена их полем при значениях доз $50\% < D < 60\%$ как сверху, так и снизу, а также с боков, что отвечает известным критериям оптимальности при их объемном фракционировании.

Заключение

Показано, что дозы, поглощенные в низкоатомных средах, можно фракционировать объемно при их облучении сканирующими пучками нейтронов высоких энергий. При этом параметры качества

их распределений можно варьировать в широких пределах регулировкой скважности шагов смещения таких пучков.

Так как радиационные эффекты в этих средах при таком облучении зависят не только от величин, но и от распределений поглощенных в них доз, то преимущественное применение методика, возможно, найдет в различных радиационных технологиях при оценке их предварительной эффективности.

Литература

1. Акаткин О.А., Кулиш О.А. Прогнозирование распределений доз в низкоатомных средах при облучении сканирующим пучком нейтронов. III Евразийский конгресс по медицинской физике и инженерии. Тезисы докладов. Сборник материалов. Т. 2 — М.: МГУ, 2010
2. Chui C.S., Spirow S., LoSasso T. // Med. Phys. 1996. V. 23. P. 635
3. Bohm J.K. In Proc. Symp. «Biomedical Dosimetry». IAEA. Vienna, 1975. P. 315–326.
4. Акаткин О.А., Кулиш О.А., Петрова О.В. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. С. 151.
5. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1984
6. Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк Численные методы. Использование MATLAB, 3-е издание.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001

The method of volume dosage fraction in low-atomic number media during high energy neutron irradiations

O.A. Akatkin, O.A. Culish, and O. V. Petrova

Military Academy of Communications (Krasnodar Branch Office)

4 Krasin str., Krasnodar, 350065, Russia

E-mail: culish_olga@mail.ru

Received December 10, 2013

The method of volume dosage fraction absorbed in low-atomic number media and mathematical model of prediction of doses distribution during high energy neutron scanning beam irradiations have been considered in this article.

PACS: 87.53 Bn; 02.30.Hg

Keywords: low-atomic number media, neutrons, irradiation, volume dosage fraction, mathematical modeling

References

1. O. A. Akatkin and O. A. Culish, in *Proceedings of III Eurasian Congress on Medical Physics and Engineering*. (Moscow State University, Moscow, 2010), Vol. 2 [in Russian].
2. C. S. Chui, S. Spirow, and T. LoSasso, *Med. Phys.* **23**, 635 (1996)
3. J. K. Bohm, in *Proc. Symp. on Biomedical Dosimetry*, (IAEA. Vienna, 1975), pp. 315–326.
4. O. A. Akatkin, O. A. Culish, and O. V. Petrova, *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 151 (2013).
5. V. I. Arnold, *Ordinary Differential Equations* (Nauka, Moscow, 1984) [in Russian].
6. J. H. Mathews and K. D. Fink, *Numerical Methods Using Matlab*. Third Edition, (Academic Press, Oxford, 1999; Vil'yams Publishing House, Moscow, 2001)