

УДК 52.088

## Прогноз распределений поглощенных доз по данным измерений в низкоатомной среде при облучении нейтронами высоких энергий

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

*Разработана и апробирована математическая модель для прогноза распределений доз, поглощенных в низкоатомной среде, по данным их измерений при облучении пучками нейтронов высоких энергий.*

PACS: 87.53 Bn; 02.30.Ng

*Ключевые слова:* низкоатомная среда, нейтроны, облучение, измерения распределений доз, математическое моделирование

### Введение

Радиационные эффекты в низкоатомных средах (в средах с низким атомным номером) при облучении нейтронами высоких энергий, а также обусловленные ими изменения их свойств зависят не только от величин, но и от распределений поглощенных в них доз [1].

Оценка этих распределений при измерениях трудоемка, поэтому необходима разработка математических моделей для их прогноза по данным малой выборки [2]. Такая модель разработана и апробирована авторами.

### Разработка модели

Разработка модели основывалась на предположении, что низкоатомная среда облучается пучком нейтронов высоких энергий в геометрии полубесконечной защиты при полях в сечениях пучка в её объеме радиусов  $R_0$  у поверхности (входное поле) и  $R$  на глубине. С центром входного поля связывали цилиндрическую систему координат  $O\rho z$ . Для заданных условий по данным измерений [3] оценивали распределения поглощенных доз в плоскости центрального сечения этого объема вдоль направлений  $O\rho$  (по лучам  $\varphi = \varphi_0$ ) на уровнях поверхности и нескольких глубин [4]. Нормировали их к приповерхностным значе-

ниям и анализировали закономерности формирования полученных распределений. На их основе моделировали поля поглощенных доз в объеме облучаемой среды обыкновенными дифференциальными уравнениями первого порядка [5] типа:

$$\frac{dD}{d\rho} + k_1 D = k_2 D^2,$$

где  $D$  – дозы,  $\rho$  – текущие координаты (при  $0 < \rho \leq R$ ),  $k_1$  и  $k_2$  – параметры.

Эти уравнения преобразовывали к следующему виду:

$$\frac{dD}{D^2 d\rho} + \frac{k_1}{D} = k_2$$

и после замены переменной сводили к следующей форме:

$$\frac{dD^*}{d\rho} - k_1 D^* = -k_2$$

где  $D^* = D^{-1}$  – новая переменная. Интегрирование последнего уравнения дает следующий результат:

$$\int \frac{dD^*}{D^*} = k_1 \int d\rho$$

$$\ln|D^*| = k_1 \rho + \ln \tilde{C}$$

Общее решение можно представить в виде:

$$D^* = \tilde{C} \cdot \exp(k_1 \rho),$$

где  $\tilde{C}$  – постоянная интегрирования. Полагая далее, что  $\tilde{C} = \tilde{C}(\rho)$ , можно получить выражение:

$$\tilde{C}(\rho) = (k_2/k_1) \exp(-k_1 \rho) + \tilde{\tilde{C}},$$

где  $\tilde{\tilde{C}}$  – новая постоянная интегрирования.

С учетом этого выражения после несложных преобразований получаем:

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.: 8 961 5213577. E-mail: culish\_olga@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20 января 2013 г.

© Акаткин О.А., Кулиш О.А., Петрова О.В., 2013

$$D^* = k_2/k_1(1 + \exp(k_1(\rho - k_3/k_1)))$$

Обратной заменой переменной находим общие решения исходных уравнений

$$D = k_2/k_1(1 + \exp(k_1(\rho - k_3/k_1)))^{-1}$$

где  $k_3 = \ln[\tilde{C}k_1/k_2]$ .

### Прогноз распределений поглощенных доз

Для прогноза распределений доз, поглощенных в объеме облучаемой среды, по данным измерений преобразовывали полученные решения к видоизмененной форме:

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

где  $K_0 = k_1/k_2$ ,  $K_1 = k_1$ ,  $K_2 = k_3/k_1$  – новые обобщенные параметры. Значения обобщенных параметров определяются из соотношений:

$$K_0 = \sup_{(\rho_0, \varphi_0) \in D(f)} D(\rho_0, \varphi_0; C_z);$$

$$K_1 = (\rho - K_2)^{-1} \ln(K_0/D - 1);$$

$$K_2 = \rho \left( 0,5 \sup_{(\rho_0, \varphi_0) \in D(f)} D(\rho_0, \varphi_0; C_z) \right)$$

где  $C_z$  – уровни глубин от поверхности облучаемой среды.

При известных значениях параметров на основе полученных частных решений можно спрогнозировать распределения поглощенных доз.

### Результаты моделирования

При апробации модели рассчитывали распределения поглощенных доз в низкоатомной среде (вода) при облучении пучком нейтронов с энергиями 14 МэВ при входном поле радиусом  $R_0 = 5$  см и расстоянии от источника до поверхности 80 см.

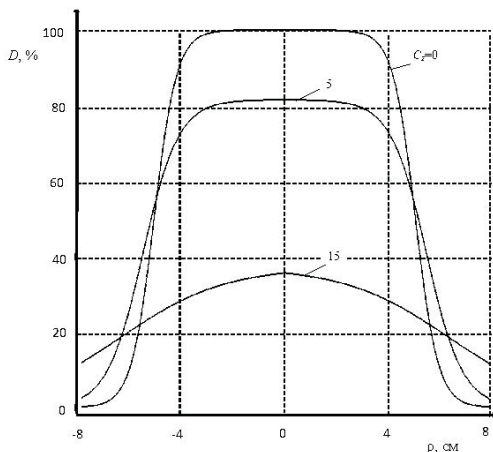


Рис. 1. Нормированные распределения поглощенных доз в воде по данным моделирования.

На рис. 1 даны нормированные графики таких распределений на уровнях трех глубин  $C_z = 0; 5; 15$  см от поверхности.

На рис. 2 дана карта нормированных распределений поглощенных доз в плоскости центрального сечения объема этой среды при тех же условиях облучения.

Относительные погрешности моделирования распределений поглощенных доз по отношению к данным измерений составляют величину  $\varepsilon \leq 2,5 \cdot 10^{-2}$  в интервале значений доз  $D$  10–90 % от всей области их определения.

### Заключение

Разработана и апробирована математическая модель на основе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка для прогноза распределений поглощенных доз в низкоатомной среде при облучении нейтронами высоких энергий по данным их измерений в её объеме малой выборки.

Предполагается, что преимущественное применение модель найдет в радиационной технологии при оценке изменений свойств низкоатомных сред, обусловленных радиационными эффектами.

### Литература

1. Аглинцев К.К. Дозиметрия ионизирующих излучений. – М.: ГИТТЛ, 1957.
2. Blake S.W. // Br. J. Radiol. 1991. V. 64. P. 341
3. Bohm J.K. // Proc. Symp. "Biomedical Dosimetry", IAEA. Vienna, 1975. P. 315.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1978.
5. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Наука, 1984.
6. Коханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программирование. – М.: Мир, 2001.

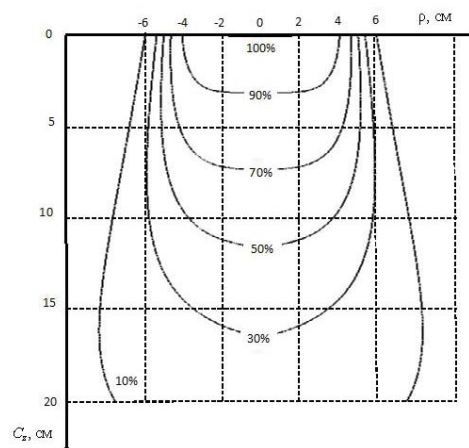


Рис. 2. Карта нормированных распределений поглощенных доз в воде по данным моделирования.

## Forecasting the absorption dosage distribution in low-atomic number materials during a high energy neutron irradiations beam

*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

*A mathematical model of prediction of doses distribution, absorbed in low-atomic environment, according to their measurements during a high energy neutron irradiation is considered in this article.*

*PACS:* 87.53 Bn; 02.30.Hg

*Keywords:* low-atomic environment, neutrons, irradiation, dosage distribution, mathematical modelihg

*Bibliography* – 6 references.

*Received January 20, 2013*