

P16-2002-254

В. Е. Алейников*, Л. Г. Бескровная, А. Р. Крылов

**РАСЧЕТ ДОЗЫ НЕЙТРОНОВ
ЗА БЕТОННОЙ ЗАЩИТОЙ
УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
НА ЭНЕРГИИ ДО 100 МэВ**

Направлено в оргкомитет XVIII Конференции
по ускорителям заряженных частиц, г. Обнинск

*E-mail: aleinik@jinr.ru

Введение

Ускорители заряженных частиц с энергией до 100 МэВ представляют собой сложную геометрическую конструкцию с множеством источников ионизирующего излучения. Наиболее проникающим компонентом излучения при работающем ускорителе являются нейтроны широкого спектра энергий. Защита от ионизирующего излучения должна обеспечивать не превышение пределов доз облучения. Для расчета защиты и дозы нейтронов за защитами используют различные методы расчета и созданные на их основе алгоритмы.

Универсальным методом расчета защиты и дозы нейтронов за защитой является метод Монте-Карло, позволяющий проводить прямое моделирование прохождения излучения через вещество в реальных геометриях. Однако созданные на его основе программы требуют существенных затрат компьютерного времени при расчете дозы за достаточно толстыми защитами. Значительно более оперативными являются феноменологические методы, основанные на установленных экспериментальными и расчетными путями закономерностях ослабления дозы веществом.

Целью работы является сравнение результатов расчетов эффективной дозы нейтронов за защитой из обычного бетона методом Монте-Карло (МК) и феноменологическим методом.

Исходные данные и геометрия расчета

Для сравнения методов расчета была выбрана геометрия плоской барьерной защиты (см. рис. 1). Толщина защиты варьировалась от 25 см до 300 см с шагом 25 см. В качестве источника падающего на защиту излучения рассматривались как моноэнергетические нейтроны в интервале энергий от 5 до 100 МэВ, так и спектры нейтронов, образующиеся в медных мишенях полного поглощения, облучаемых пучками протонов с энергией 72 МэВ и 30 МэВ /1, 2/.

Расчет методом Монте-Карло проводился по программе MCNP4B /3/ (пакет библиотек DLC189). Геометрия расчетов представлена на рис. 1.

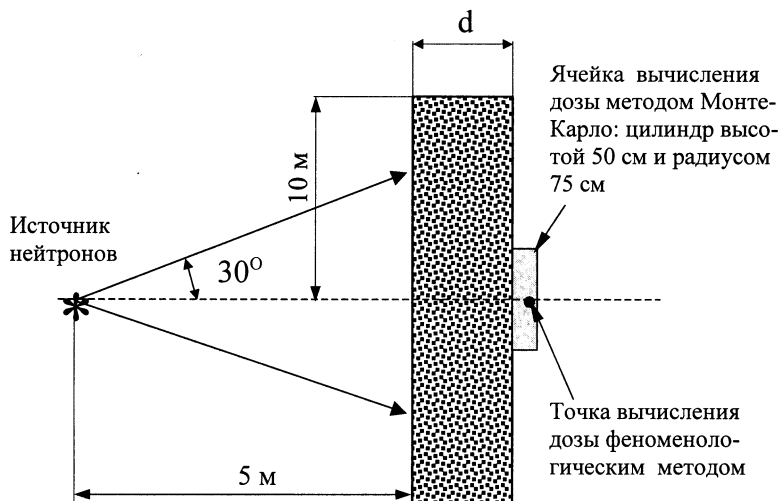


Рис.1. Геометрия расчета эффективной дозы нейтронов за бетонной защитой, представляющей собой цилиндрический слой толщиной d (25, 50, 75, ..., 275, 300 см) и радиусом 10 м

Используемый при расчетах химический состав бетона приведен в таблице. Статистическая погрешность расчетных данных с использованием метода МК не превышает 5%.

Таблица. Химический состав бетона ($\rho = 2,35 \text{ г/см}^3$)

Химический элемент	H	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe
Весовая доля, %	0,63	5,9	51,59	0,42	0,75	14,73	0,38	25,1	0,5

Расчет дозы нейтронов за барьерной защитой (рис. 1) из обычного бетона ($\rho = 2,35 \text{ г/см}^3$) феноменологическим методом /4/ для моноэнергетических источников нейтронов с энергией E основывается на простом выражении

$$E_{ef}(d, E) = \frac{f}{R^2} \cdot h(E) \cdot B(E) \cdot \exp(-d / \lambda(E)), \quad (1)$$

где $E_{ef}(d, E)$ – эффективная доза за защитой толщиной d ; f – выход нейтронов из источника в один стерадиан; R – расстояние от источника нейтронов до точки, в которой оценивается доза; $h(E)$ – коэффициент перехода от флюенса нейтронов к эффективной дозе /5/; $B(E)$ – фактор накопления нейтронов /4/; $\lambda(E)$ – длина ослабления дозы нейтронов в защите из обычного бетона плотностью $2,35 \text{ г/см}^3$ при падении на нее нейтронов с энергией E /4/. Выражение (1) в неявном виде содержит в себе понятие равновесного спектра, т.е. утверждение, что, начиная с некоторой толщины в защите, форма нейтронного спектра практически не меняется по глубине защиты.

Результаты

На рис. 2 представлены результаты расчета коэффициента ослабления эффективной дозы нейтронов бетонной защитой, полученные с использованием двух описанных выше методов. Коэффициент ослабления дозы k определяется как отношение

$$k = E_{ef}(d, E) / E_{ef}(0, E), \quad (2)$$

где $E_{ef}(0, E)$ – эффективная доза нейтронов в точке, расположенной на расстоянии R от источника при отсутствии защиты.

На рис. 3 приведены данные по распределению эффективной дозы нейтронов в зависимости от энергии нейтронов источника для различной толщины защиты. На рис. 4, 5 и 6 приведены результаты расчетов эффективных доз нейтронов с энергией более 7 МэВ за защитой для случая, когда источником является медная мишень полного поглощения, на которую падают протоны с энергиями 72 МэВ и 30 МэВ /1, 2/. Как видно из рис. 2 ÷ 6, расхождение в результатах расчетов не превышает коэффициента 2 во всем диапазоне энергий и для различной толщины защиты.

С помощью программы MCNP (метод Монте-Карло) были получены параметры $\lambda(E)$ и $V(E)$ и проведено их сравнение с такими же параметрами, используемыми в феноменологическом методе /4/ (см. рис. 7, 8).

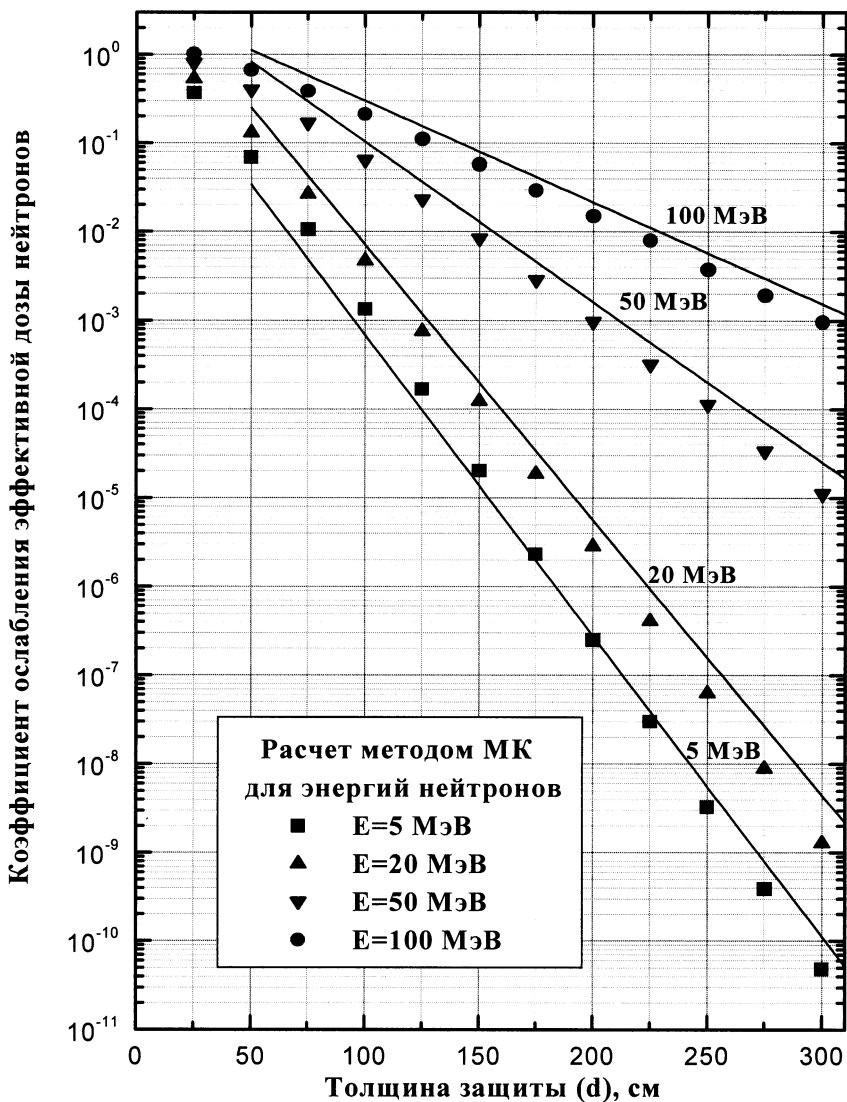


Рис. 2. Сравнение ослабления эффективной дозы нейтронов бетонной защитой: значки – результаты расчетов методом Монте-Карло, линии – расчет феноменологическим методом. Изотропный источник нейтронов с энергией 5, 20, 50 и 100 МэВ, расположенный на расстоянии 5 м от защиты

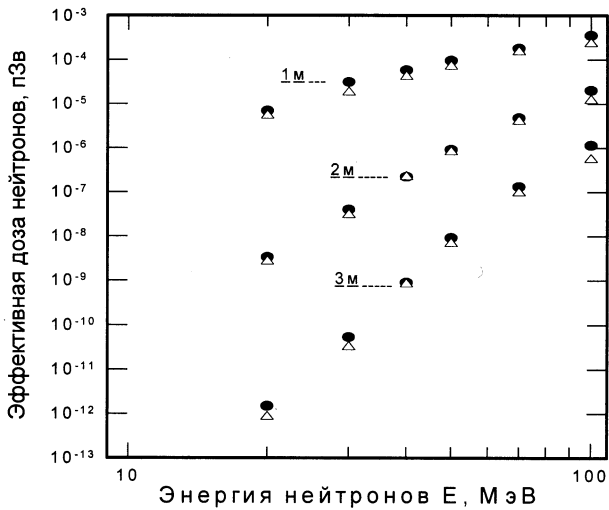


Рис. 3. Дозы нейтронов за защитой в зависимости от энергии первичных нейтронов: кружки – феноменологический метод, треугольники - МК

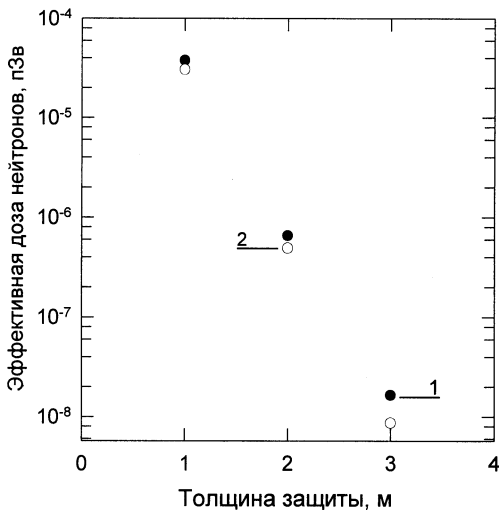


Рис. 4. Доза нейтронов за защитой. На защиту падают нейтроны, вылетевшие из толстой Си-мишени под 90° и образованные при взаимодействии с ней протонов с энергией 72 МэВ: 1 – феноменологический метод, 2 - МК

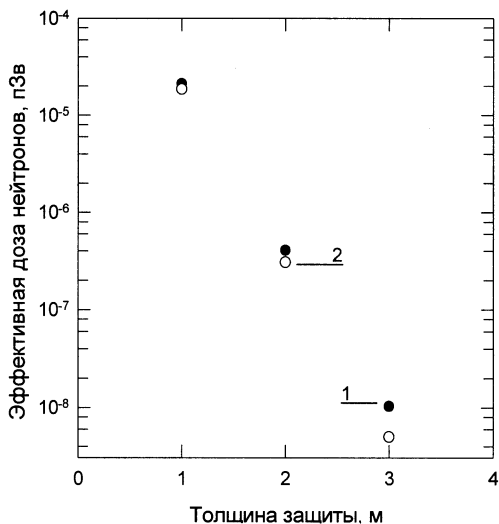


Рис. 5. Доза нейтронов за защитой. На защиту падают нейтроны, вылетевшие из толстой Cu-мишени под 90^0 и образованные при взаимодействии с ней протонов с энергией 72 МэВ: 1 – феноменологический метод, 2 - МК

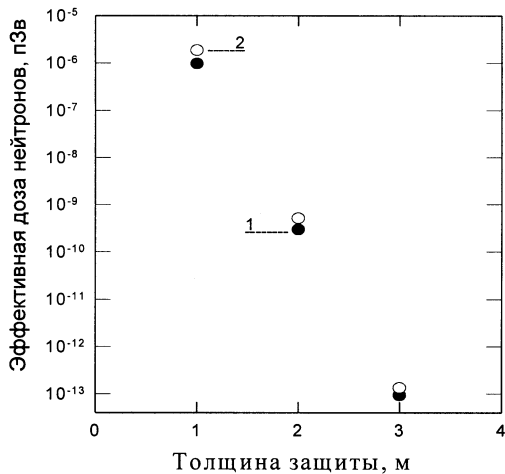


Рис. 6. Доза нейтронов за защитой. На защиту падают нейтроны, вылетевшие из толстой Cu-мишени под 0^0 и образованные при взаимодействии с ней протонов с энергией 30 МэВ: 1 – феноменологический метод, 2 - МК

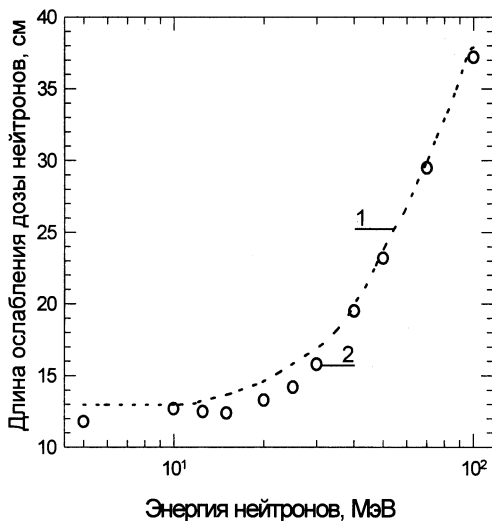


Рис. 7. Длина ослабления эффективной дозы нейтронов защитой в зависимости от энергии нейтронов: 1 – феноменологический метод, 2 - МК

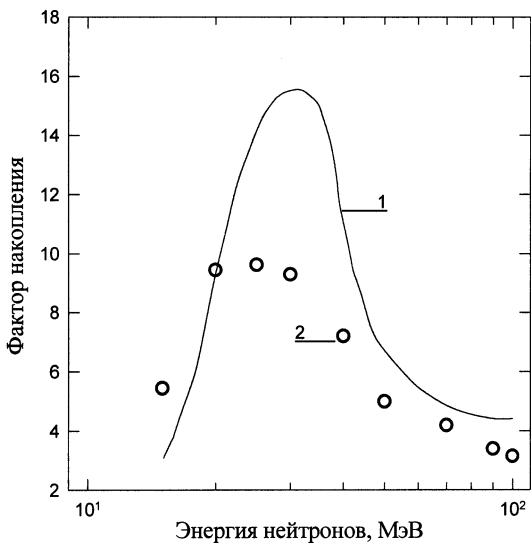


Рис. 8. Фактор накопления нейтронов: 1 - феноменологический метод, 2 – метод Монте-Карло

Выводы

Сравнение результатов расчета эффективной дозы нейтронов за защитами двумя методами показало, что различие в оценке толщины защиты при использовании этих методов не превышает величину слоя половинного ослабления эффективной дозы нейтронов в защите. Для рассматриваемого диапазона энергий и толщины защиты это составляет от 10 до 30 см бетона.

Феноменологический метод, как правило, завышает расчетную величину эффективной дозы нейтронов по сравнению с методом Монте-Карло. Феноменологический метод позволяет оперативно рассчитывать защиту от излучений с точностью, необходимой для проектирования ускорительных комплексов. При расчете защиты сложной геометрии (например, защитные лабиринты) предпочтительным является метод Монте-Карло.

ЛИТЕРАТУРА

1. T.A. Broome et al., Health Physics, vol.44, No.5, 487, 1983.
2. T. Nakamura et al., Nucl. Sci. Eng., 83, 444, 1983.
3. MCNP – A General Monte - Carlo N-Particle Transport Code, LA-12625-M, Version 4B, 1997.
4. Л.Г. Бескровная, М.М. Комочков, P16-95-481, Дубна, 1995.
5. IAEA, Compendium of neutron spectra and detector responses for radiation protection purposes, TRS No. 403, Vienna, 2001.

Получено 5 ноября 2002 г.

Алейников В. Е., Бескровная Л. Г., Крылов А. Р.
Расчет дозы нейтронов за бетонной защитой ускорителей
заряженных частиц на энергии до 100 МэВ

P16-2002-254

Представлены результаты расчетов эффективной дозы нейтронов за бетонной защитой толщиной до 3 метров. Расчеты выполнены методом Монте-Карло и феноменологическим методом для моноэнергетических нейтронов с энергией от 5 до 100 МэВ, а также для спектров вторичных нейтронов, генерируемых в толстых мишенях протонами с энергией 30 и 72 МэВ. Сравнение результатов расчета эффективной дозы нейтронов за защитой с использованием феноменологического подхода и метода Монте-Карло показало, что величины доз, рассчитанные этими методами, отличаются, как правило, менее чем в два раза, т.е. различие в оценке толщины защиты при использовании этих методов не превышает величину слоя половинного ослабления эффективной дозы нейтронов в защите. Для рассматриваемого диапазона энергий и толщины защиты это составляет от 10 до 30 см.

Работа выполнена в Отделении радиационных и радиобиологических исследований ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2002

Перевод авторов

Aleinikov V. E., Beskrovnaja L. G., Krylov A. R.
Neutron Effective Dose Calculation behind Concrete Shielding
of Charged Particle Accelerators with Energy up to 100 MeV

P16-2002-254

Calculation data of neutron effective dose behind concrete shielding with thickness up to 3 meters is presented. The calculations have been performed by Monte Carlo and phenomenological methods for monoenergetic neutrons with energy from 5 to 100 MeV as well as for neutron spectra produced by protons with energies of 30 and 72 MeV in thick targets. Comparison between calculations of neutron effective dose behind shielding using phenomenological approach and those by Monte Carlo method normally shows agreement to within a factor of better than two, i.e. estimation of shielding thickness by those methods shall not exceed one half value layer of neutron effective dose attenuation in shielding. It amounts from 10 to 30 cm of concrete shielding for neutron energies and thickness of shields under consideration.

The investigation has been performed at the Division of Radiation and Radiobiological Research, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2002

*Редактор М. И. Зарубина
Макет Н. А. Киселевой*

Подписано в печать 21.11.2002.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,63. Уч.-изд. л. 0,56. Тираж 230 экз. Заказ № 53624.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/