

DOI: 10.12737/22251

Павленко В.И., д-р техн. наук, проф.,  
Черкашина Н.И., канд. техн. наук, доц.,  
Ястребинская А.В., канд. техн. наук, доц.,  
Толыпина Н.М., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАСЧЕТ НЕЙТРОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА\*

natalipv13@mail.ru

В данной работе представлены данные по физико-математическому расчету нейтронно-защитных свойств композиционного материала на основе полистирола и гидрида титана. Расчет производился на основании элементного химического состава для композиционного материала с оптимальным составом. В работе представлена методика расчета коэффициента ослабления нейтронного пучка при прохождении через поверхность композиционного материала. Дана оценка основных характеристик радиационной защиты при прохождении излучения в исследуемом материале (ослабление плотности потока нейтронов ( $0,1 < E < 5$  МэВ), ослабление мощности дозы нейтронного излучения). Построена зависимость коэффициента ослабления плотности потока нейтронов в исследуемом композиционном материале при энергиях нейтронов  $0,1 \text{ МэВ} < E < 5 \text{ МэВ}$ . При таких энергиях, нейтроны называют быстрыми и их вклад в полное сечение взаимодействия нейтрона с ядрами вносят процессы упругого потенциального рассеяния и неупругого рассеяния. Видно, что при интересующих нас энергиях нейтронов в интервале ( $0,1 < E < 5$  МэВ) вклад атомов водорода в коэффициент ослабления потока нейтронов наибольший. В данной работе доказана высокая радиационная стойкость композита к нейтронному излучению.

**Ключевые слова:** нейтронное излучение, композиционный материал, коэффициент ослабления плотности потока нейтронов.

**Введение.** Полимерные композиты для биологической защиты реактора должны обладать повышенной пластичностью, тепловой и удельной конструкционной прочностью, коррозионной стойкостью, а также уменьшенной массой по сравнению с традиционно применяемыми металлическими материалами [1–4]. Особое внимание уделяется материалам, в состав которых входит гидрид титана с повышенным содержанием водорода, используемого для поглощения нейтронных потоков в ядерной энергетике в качестве замедлителя в регулирующих стержнях ядерного реактора на быстрых нейтронах, а также в качестве наполнителя для защиты от радиоактивного излучения [5–7].

В данной работе представлены данные по физико-математическому расчету нейтронно-защитных свойств композиционного материала на основе полистирола и гидрида титана.

**Методология.** Для проведения нейтронно-физического моделирования был проведен расчет элементного химического состава композиционного материала с оптимальным составом.

В работе рассчитывали зависимость коэффициента ослабления плотности потока нейтронов в исследуемом композиционном материале при энергиях нейтронов  $0,1 \text{ МэВ} < E < 5 \text{ МэВ}$ . При таких энергиях, нейтроны называют быстрыми и их вклад в полное сечение взаимодей-

ствия нейтрона с ядрами вносят процессы упругого потенциального рассеяния и неупругого рассеяния. Упругое потенциальное рассеяние представляется как отражения падающей нейтронной волны на потенциальной яме, возникающей за счет ядерного взаимодействия нейтрона с ядром. Сечение потенциального рассеяния для рассматриваемой энергетической области быстрых нейтронов примерно равно геометрическому сечению ядра. Смоделирована зависимость коэффициента ослабления потока быстрых нейтронов, проходящих через рассматриваемый композитный материал.

**Основная часть.** На рисунке 1 представлены кривые, описывающие полные сечения взаимодействия нейтрона с атомами водорода, углерода и титана при различных энергиях [9]. Кривые построены при аппроксимации экспериментальных данных.

Для исследуемого композиционного материала линейный коэффициент ослабления потока нейтронов имеет следующий вид:

$$\mu_n = N_a \left( \frac{\rho_H}{A_H} \sigma_H + \frac{\rho_C}{A_C} \sigma_C + \frac{\rho_{Ti}}{A_{Ti}} \sigma_{Ti} \right) \quad (1)$$

Используя сечения, представленные на рисунке 1, по формуле (1) построены кривые, описывающие зависимость коэффициента ослабления потока нейтронов, проходящего через композиционный материал (рис. 2). Из рисунка 2

следует, что, несмотря на низкую плотность водорода в исследуемом композите, вклад водоро-

да в коэффициент ослабления потока нейтронов наибольший.

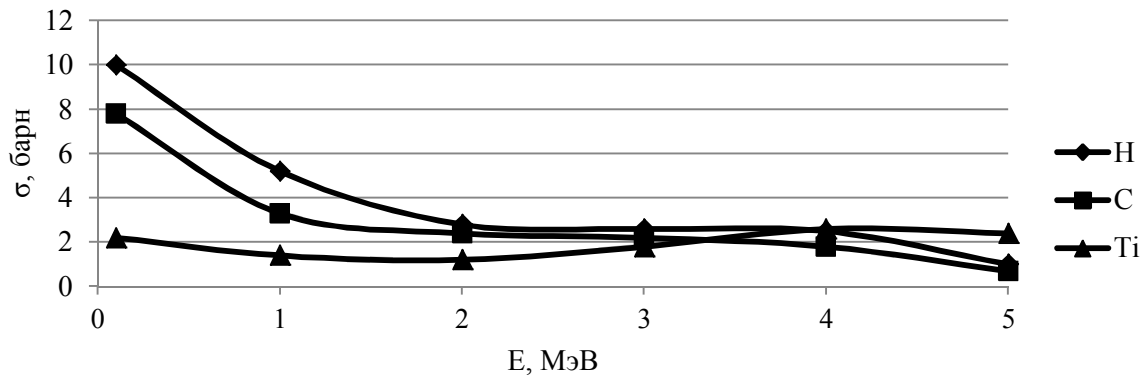


Рис. 1. Полные сечения взаимодействия нейтрона с атомами водорода, углерода и титана (μn)

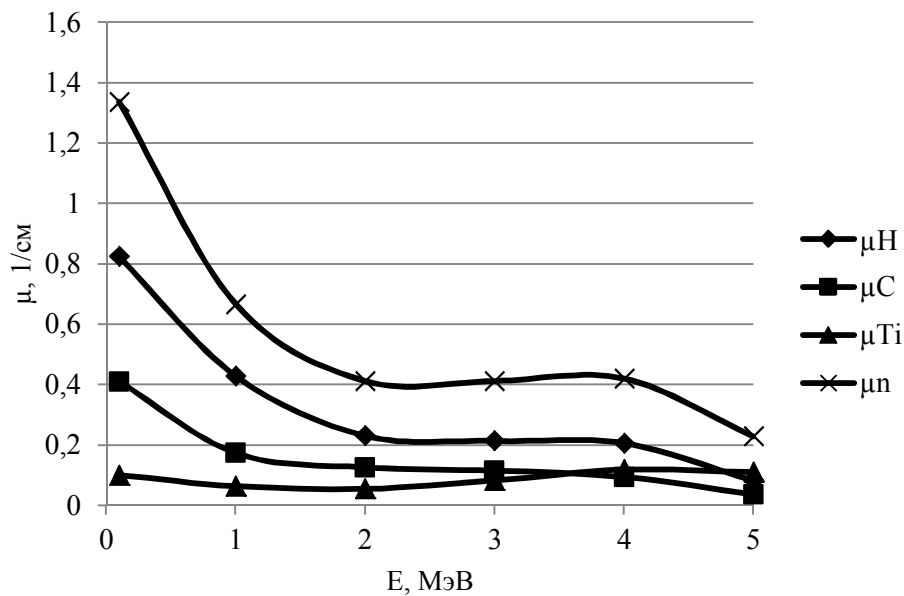


Рис. 2. Линейный коэффициент ослабления потока нейтронов в исследуемом композите. Вклад каждого вещества в суммарный коэффициент ослабления

Зависимость длины свободного пробега нейтронов между столкновениями от его энергии вычислим по формуле:

$$\lambda_n = \frac{1}{\mu_n} \quad (2)$$

На рисунке 3 приведена кривая, демонстрирующая зависимость длины свободного пробега нейтронов между столкновениями от энергии нейтронов в исследуемом композите.

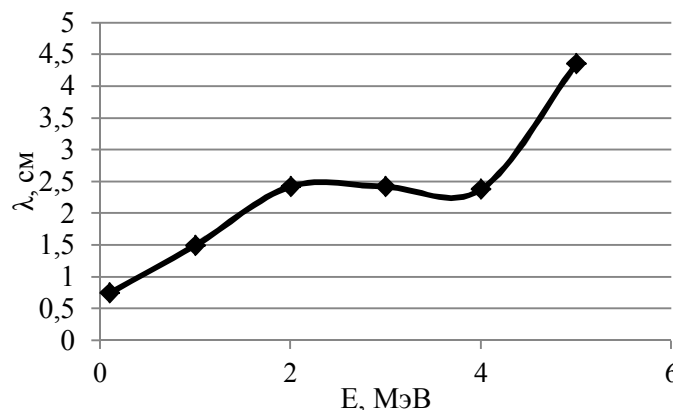


Рис. 3. Зависимость длины свободного пробега нейтронов между столкновениями от его энергии

**Выводы:** Был произведен расчет коэффициента ослабления нейтронного пучка при прохождении через поверхность композиционного материала. Дана оценка основных характеристик радиационной защиты при прохождении излучения в исследуемом материале (ослабление плотности потока нейтронов ( $0,1 < E < 5$  МэВ), ослабление мощности дозы нейтронного излучения). Видно, что при интересующих нас энергиях нейтронов в интервале ( $0,1 < E < 5$  МэВ) вклад атомов водорода в коэффициент ослабления потока нейтронов наибольший. В данной работе доказана высокая радиационная стойкость композита к нейтронному излучению.

\* Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Композиционные материалы: Справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; Под общ. Ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
2. Тарасов Д.Г. Оценка защитного эффекта и модель распределения быстрых электронов в полимерных радиационно-защитных композициях // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 6-3. С. 674–677.
3. Гульбин В.Н., Колпаков Н.С., Горкавенко В.В., Чердынцев В.В. Разработка и исследование радио- и радиационно-защитных композиционных материалов // *Научное обозрение*. 2015. Т. 16. № 5. С. 16-24.
4. Чердынцев В.В., Бойков А.А. Термическая устойчивость полимерных нанокомпозитов на основе свехвысокомолекулярного полиэтилена и полисульфона // *Интернет-журнал Науковедение*. 2013. № 4 (17). С. 12.
5. Ястребинская А.В., Матюхин П.В., Павленко З.В., Карнаухов А.В., Черкашина Н.И. Использование гидридсодержащих композитов для защиты ядерных реакторов от нейтронного излучения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 12-6. С. 987–990.
6. Васильев Г.А. Водородсодержащие материалы для атомной энергетики // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2014. № 11-2 (30). С. 10-13.
7. Казеев В.Г., Чернухин Ю.И., Невзоров В.А., Долгорукова А.Г. Термостойкий нейтронозащитный материал // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы*. 2013. № 1 (74). С. 133–146.
8. Павленко В.И., Бондаренко Г.Г., Черкашина Н.И. Разработка нейтронно-защитных полимерных композитов на основе тонкомолотого гидрида титана // *Перспективные материалы*, 2016. № 7. С. 16–21.
9. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений. Справочник – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. – 1995. 496 с.

---

**Pavlenko V.I., Cherkashina N.I., Yastrebinskaya A.V., Tolyipina N.M.**  
**THE CALCULATION OF THE NEUTRON-SHIELDING PROPERTIES OF THE COMPOSITE MATERIAL**

*This paper presents data on the physical and mathematical calculation of neutron-absorbing properties of composite materials based on polystyrene and titanium hydride. The calculation was carried out on the basis of elemental chemical composition for composite material with optimal composition. The paper presents method of calculation of the coefficient of attenuation of the neutron beam when passing through the surface of the composite material. The estimation of the basic characteristics of radiation protection during the passage of radiation in the material (weakening of the flux density of neutrons ( $0,1 < E < 5$  MeV), attenuation of dose rate of neutron radiation). The dependence of the attenuation coefficient of neutron flux in the investigated composite material at the neutron energy of  $0,1 \text{ MeV} < E < 5 \text{ MeV}$ . At these energies, the neutrons are called fast and their contribution to the total cross section of interaction of neutrons with nuclei contribute to the process of potential elastic scattering and inelastic scattering. It is seen that when the neutron energy in the interval ( $0,1 < E < 5$  MeV) the contribution of the hydrogen atoms in the attenuation coefficient of the neutron flux is greatest. In this paper we show high radiation resistance of the composite to neutron radiation.*

**Key words:** *neutron emission, composite material, the attenuation coefficient of the neutron flux*

---

**Павленко Вячеслав Иванович**, доктор технических наук, директор химико-технологического института Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
 Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
 E-mail: belpavlenko@mail.ru

**Черкашина Наталья Игоревна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: natalipv13@mail.ru

**Ястребинская Анна Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: karanna1@mail.ru

**Толыпина Наталья Максимовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: d.oleg-19953@mail.ru