

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

В. В. МОРГУНОВ^{1*}, Н. В. ДИДЕНКО², Р. М. ТРИЦ¹

¹ УИПА, Харьков, УКРАИНА

² ХНАДУ, Харьков, УКРАИНА

*email: volodymyr.morgunov@gmail.com

АННОТАЦИЯ В статье приведены результаты численных экспериментов по моделированию поглощения энергии гамма-излучения с/без использования предложенных радиационно-защитного костюма и радиационно-защитного материала (свинцовое стекло в виде микросфер). Предложенный метод численных экспериментов приводит к снижению человеческих, временных и финансовых ресурсов. При проведении численных экспериментов использовался программный комплекс GEANT4. Полученные результаты позволяют рассчитывать эффективность радиационно-защитной одежды.

Ключевые слова: численный эксперимент, радиационно-защитная одежда, гамма-излучение, GEANT4.

NUMERICAL CALCULATION OF RADIATION PROTECTIVE CLOTHING EFFICIENCY BY USING MONTE CARLO METHOD

V. MORGUNOV^{1*}, N. DIDENKO², R. TRISHCH¹

¹ UEPA, Kharkov, UKRAINE

² KhNAHU, Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The article presents the results of numerical experiments on modeling of absorption of gamma-radiation with/without using the proposed radiation-protective suit and radiation-shielding material (lead glass in the form of microspheres). The proposed method numerical experiments leads to the reduction of human, time and financial resources. When conducting numerical experiments we used the software package GEANT4. When conducting numerical experiments, we used a phantom of the human body (total of 40 organs). Radiation-protective suit was developed in a graphical environment on 3D modeling and visualization 3ds MAX and the obtained model was introduced into the software package GEANT4 with the use a graphics library CADMesh.

The calculations were performed for gamma radiation in the energy range from 100 keV to 1.5 MeV with a step of 50 keV. For each point the number of gamma-rays was equal to 10^6 . The size of the gamma source was 2×0.75 m. Distance between source and irradiated object was 0,5 m. One run of calculation took time about 120 min.

The results of numerical calculations show the following: the efficiency of reducing energy absorption for organs that are not fully covered by a radiation-protective suit can be worse than without the use of suit; the reduction efficiency of absorption of energy of gamma radiation falls with increasing energy.

The obtained results allow to design and calculate the efficiency of radiation-protective clothing.

Keywords: numerical simulation, radiation protective clothing, gamma radiation, GEANT4.

Введение

Расчет защитных свойств радиационно-защитных материалов требует проведения большого количества экспериментов. Значительно сократить этот объем работы и времени позволяет использование математических методов.

Использование методов численного моделирования широко используется для расчета технологических параметров различных процессов. Особенно активно эти методы применяются в области моделирования прохождения ионизирующего излучения через вещество. Это обусловлено следующими факторами: ростом вычислительной мощности компьютерной техники и развитием программного обеспечения; существуют ситуации, когда невозможно измерить физические величины, относящиеся к ионизирующему излучению (например, радиационная обработка музейных

экспонатов, расчет эквивалентной поглощенной дозы внутренних органов); численное моделирование дополняет дозиметрические измерения, позволяет проводить большое количество вычислительных экспериментов, что способствует удешевлению и ускорению разработки новых радиационных технологий и материалов и т.д.

Цель работы

Целью работы является проведение численного расчета эффективности радиационно-защитной одежды с помощью метода Монте-Карло. Авторами был предложен радиационно-защитный материал на основе свинцового стекла [1]. Выбор соответствующего математического метода и способа расчета поглощенной дозы для расчета радиационно-защитных свойств материалов был сделан в [2].

Описание постановки численного эксперимента

Оценка поглощенной дозы ионизирующего излучения органами человека является сложной задачей ввиду того, что человеческое тело состоит из множества неоднородных органов. Для моделирования поглощенной дозы органами человека использовался идеализированный фантом человека [3]. При использовании идеализированного фантома человека были сделаны следующие упрощения:

1. Фантом человека состоит из органов, форма которых имеет простые геометрические формы, приблизительно соответствующих размеру и форме органам взрослого человека. Каждый «орган» определен внутри фантома, и являющийся гомогенным по составу и плотности. Перечень рассматриваемых органов представлен в табл. 1. Масса фантома человека принимается 70 кг.
2. Источник излучения – прямоугольной формы, излучающий фотоны/электроны одной энергии.

Был промоделирован фантом мужского организма. Модель мужского фантома представлена на рис. 1.

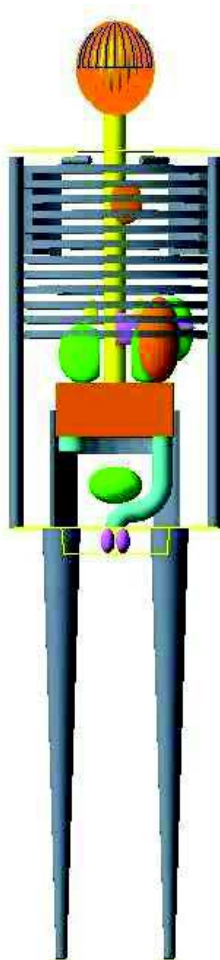


Рис. 1 – Фантом человека, используемого при численном моделировании эффективности радиационно-защитной одежды.

Были проведены численные эксперименты по определению эффективности снижения гамма-излучения при прохождении через радиационно-защитную одежду (рис. 2) из предложенного материала [1]. Источник гамма-излучения представляет собой плоскость, равномерно испускающую моноэнергетические фотоны. Расстояние между гамма-источником и продольной осью фантома составило 0,5 м. Размеры гамма-источника составили 2x0,75 м. Расчеты проводились в диапазоне энергий гамма излучения от 100 кэВ до 1,5МэВ с шагом 50 кэВ для случая с защитным костюмом и без для каждого органа, представленных в таблице 1. Для каждой точки количество гамма-лучей равнялось 10^6 . Во всем диапазоне энергий производился расчет поглощенной энергии каждым из органов и производился расчет эффективности радиационно-защитной одежды.

При проведении численных экспериментов в качестве материала радиационно-защитной одежды бралось свинцовое стекло (плотность – 4460 кг/м³). Его состав дан в табл. 2. Объем защитной одежды при моделировании составил 0,01545 м³, масса - 68,9 кг.

Таблица 1 – Список органов, рассматриваемых при численном моделировании, их объем и вес.

№ пп	Наименование	Объем, см ³	Вес, г	Нумерация на рис. 4-7
1.	Головной мозг	1470.27	1451	0
2.	Голова	4651,88	4590.95	1
3.	Сердце			2
4.	Левый надпочечник	7.85398	7.75109	3
5.	Кость левой руки	819.27	1217.6	4
6.	Левая молочная железа			5
7.	Левая ключица	13.6657	20.3099	6
8.	Левая почка	144.226	142.337	7
9.	Левая нога	10388.2	10252.1	8
10.	Кость левой ноги	1399.74	2080.29	9
11.	Левое легкое	-	-	10
12.	Левый яичник	-	-	11
13.	Левая лопатка	101.474	150.811	12
14.	Левая тестикула	18.7867	18.5406	13
15.	Толстая кишка	344.257	339.747	14
16.	Мужские гениталии	229.799	226.788	15
17.	Поясничный отдел позвоночника	753.957	1120.53	16
18.	Поджелудочная железа	60.9039	60.106	17
19.	Таз	605.924	900.524	18
20.	Грудная клетка	691.818	1028.18	19

21.	Правый надпочечник	7.85398	7.75109	20
22.	Кость правой руки	819.456	1217.87	21
23.	Правая молочная железа	-	-	22
24.	Правая ключица	13.6657	20.3099	23
25.	Правая почка	144.226	142.337	24
26.	Правая нога	10388.2	10252.1	25
27.	Кость правой ноги	1399.74	2080.29	26
28.	Правое легкое	-	-	27
29.	Правый яичник	-	-	28
30.	Правая лопатка	101.474	150.811	29
31.	Правая тестикула	18.7867	18.5406	30
32.	Череп	843.268	1253.26	31
33.	Тонкая кишка	1019.19	1005.84	32
34.	Селезенка	175.929	173.625	33
35.	Желудок	402.124	396.856	34
36.	Тимус (вилочковая железа)	25.1327	24.8035	35
37.	Щитовидная железа	-	-	36
38.	Торс	43958.5	43382.6	37
39.	Верхняя часть толстой кишки	435.068	429.368	38
40.	Верхний отдел позвоночника	126.458	187.942	39
41.	Мочевой пузырь	45.9494	45.3474	40

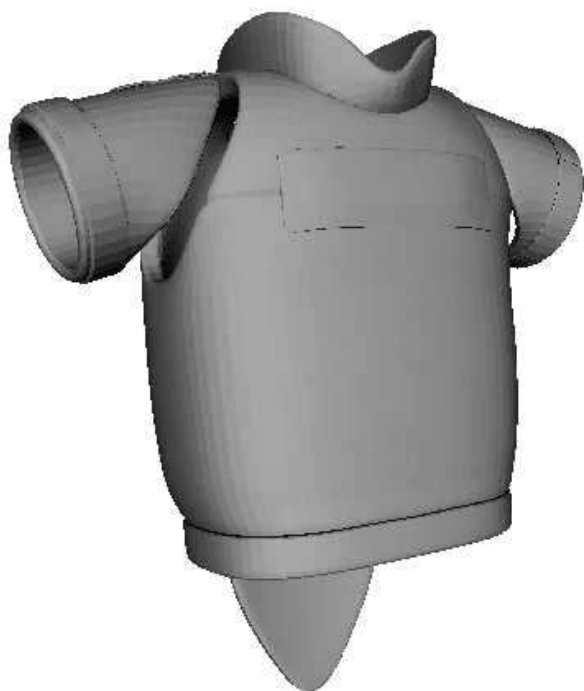


Рис. 2 – Эскиз радиационно-защитной одежды.

Таблица 2 – Состав материала радиационно-защитной одежды

№ пп	Химический элемент	Содержание, %
1.	Кислород	15,65
2.	Кремний	8,09
3.	Титан	0,81
4.	Мышьяк	0,26
5.	Свинец	75,19

Результаты

Результаты расчета эффективности снижения поглощенной энергии органами человека при использовании радиационно-защитной одежды, представленной на рис. 2, приведены на рис. 3-6. Расчеты производились при помощи программного комплекса GEANT4 [4, 5]. Полученные численные результаты обрабатывались в программном комплексе ROOT [6]. На графиках зависимостей справа даны нумерация органов фантома, соответствующая табл. 1 (крайний правый столбец). Поглощенная доза рассчитывалась в соответствии с методом предложенным в [7].

Обсуждение результатов

С повышением энергии гамма-квантов эффективность радиационно-защитных свойств промоделированного костюма снижается. В некоторых случаях (когда моделируемый орган может выходить за пределы радиационно-защитного костюма) поглощенная энергия в случае применения радиационно-защитного костюма может превышать для случаев, при которых костюм отсутствует. Это происходит по следующей причине: с ростом энергии гамма-квантов растет число вторичных электронов (явление фотоэффекта), что приводит к превышению поглощенной энергии органами человека в радиационно-защитной одежде, чем без одежды. Такое явление происходит, например, для следующих органов: головной мозг, левая и правая ноги, кость левой и правой ноги. Из графиков зависимостей пока необъяснимым остается вид графика для левого и правого надпочечника (органы №№ 3 и 20). Объяснение такого поведения будет дальнейшей темой исследования.

Выводы

В работе показана возможность применения современных методов исследований радиационных технологий, а именно проведение численных экспериментов для определения эффективности радиационно-защитной одежды [8-10]. Такие методы существенно снижают как временные, так и финансовые затраты.

Предложенные радиационно-защитный костюм

и радиационно-защитный материал показали свою эффективность и могут применяться для защиты организма человека от ионизирующего излучения.

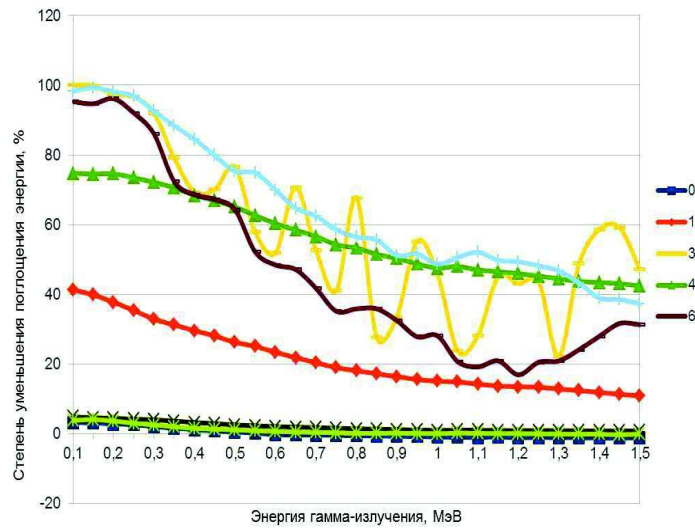


Рис. 3 – Зависимость степени уменьшения поглощения энергии гамма-излучения органами человека от энергии

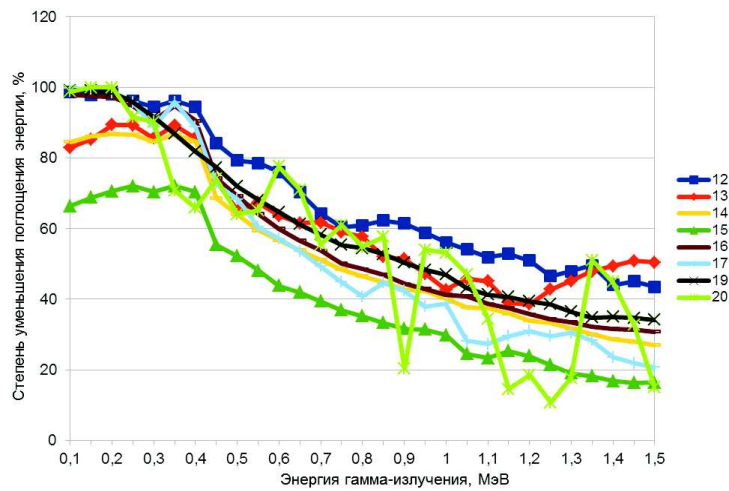


Рис. 4 – Зависимость степени уменьшения поглощения энергии гамма-излучения органами человека от энергии

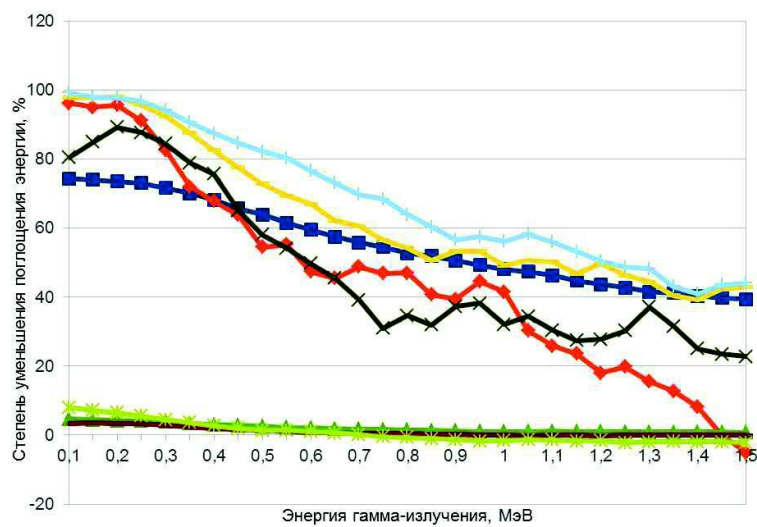


Рис. 5 – Зависимость степени уменьшения поглощения энергии гамма-излучения органами человека от энергии

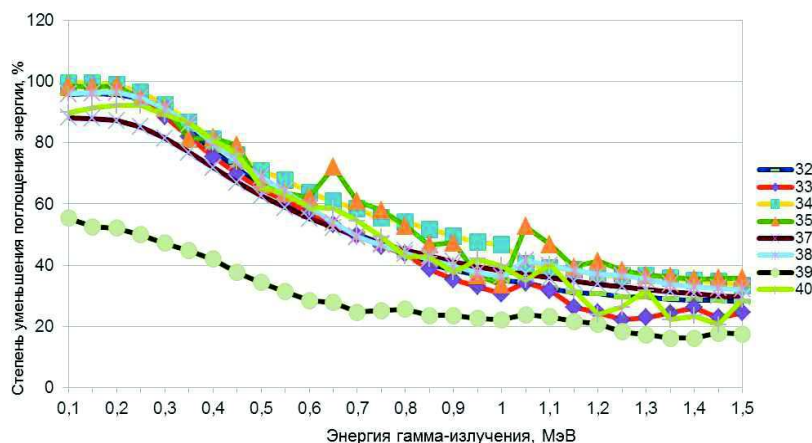


Рис. 6 – Зависимость степени уменьшения поглощения энергии гамма-излучения органами человека от энергии

Список литературы

- 1 **Тришч, Р. М.** Радиационно-защитный материал : пат. 94166 Украина, МПК G21F 1/00 / **Р. М. Тришч, В. В. Моргунов, Н. В. Диденко, М. В. Денисенко.** / заявл. 15.08.2014 ; опубл. 27.10.2014, бюл. № 20. – 4 с.
- 2 **Моргунов, В. В.** Выбор и использование математических методов для определения технологических параметров радиационно-защитных материалов / **В. В. Моргунов, Н. В. Диденко, Р. М. Тришч** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 56-61. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.08.
- 3 **Snyder, W. S.** Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom / **W. S. Snyder et al.** // *J. Nucl. Med. Suppl.* – 1969. – No. 3. – P. 5-52.
- 4 **Allison, J.** Geant4 developments and applications / **J. Allison, K. Amako, J. E. A. Apostolakis, H. A. A. H. Araujo, P. A. Dubois, M. A. A. M. Asai, G. A. P. Cirrone** // *Nuclear Science, IEEE Transactions on.* – 2006. – No 53(1). – 270-278. – doi:10.1109/TNS.2006.869826.
- 5 **Agostinelli, S.** Geant4—a simulation toolkit / **S. Agostinelli, J. Allison, K. A. Amako, J. Apostolakis, H. Araujo, P. Arce, F. Behner** // *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment.* – 2003. – No 506(3). – P. 250-303. – doi:10.1016/S0168-9002(03)01368-8.
- 6 **Antcheva I.** ROOT—A C++ framework for petabyte data storage, statistical analysis and visualization / **I. Antcheva, et al.** // *Computer Physics Communications.* – 2009. – No 180(12). – P. 2499-2512. – doi:10.1016/j.cpc.2009.08.005
- 7 **Моргунов, В. В.** Метод расчета поглощенной (эквивалентной) дозы и мощности поглощенной (эквивалентной) дозы ионизирующего излучения / **В. В. Моргунов, Р. М. Тришч, Н. В. Диденко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 101-106. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.15.
- 8 **Goorley, J. T.** Initial MCNP6 release overview-MCNP6 version 1.0. / **J. T. Goorley, M. James, T. Booth, F. Brown, J. Bull, L. J. Cox, J. Hendricks** // *Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-13-22934.* – 2013. – № 1. – P. 1-42. – doi:10.2172/1086758.
- 9 **Battistoni, G.** The FLUKA code: Description and benchmarking / **G. Battistoni, F. Cerutti, A. Fasso, A. Ferrari, S. Muraro, J. Ranft, P. R. Sala** // *In Hadronic Shower Simulation Workshop(AIP Conference Proceedings).* – 2007. – Vol. 896. – P. 31-49. – doi:10.1063/1.2720455.
- 10 **Colonna, N.** Simulations of neutron transport at low energy: A comparison between GEANT and MCNP / **N. Colonna, S. Altieri** // *Health physics.* – 2002. – № 82(6). – P. 840-846.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Trishch, R., Morgunov, V., Didenko, N., Denisenko, M.** Radiation-protective material: patent 94166 Ukraine, МПК G21F 1/00 / 27.10.2014, № 20. - 4 p.
- 2 **Morgunov V., Didenko N., Trishch R.** Choice and use of mathematical methods to determine the technological parameters of radiation-shielding materials. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", – 2016. – 12 (1184). – P. 56-61. – doi:10.20998/2413- 4295.2016.12.08.
- 3 **Snyder, W. S., et al.** MIRD Pamphlet No. 5 Revised, Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. *J. Nucl. Med. Suppl.* 1969, 3, 5-52.
- 4 **Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J. E. A., Araujo, H. A. A. H., Dubois, P. A., Asai, M. A. A. M., Cirrone, G. A. P.** Geant4 developments and applications. *Nuclear Science, IEEE Transactions on,* 2006, 53(1), 270-278, doi:10.1109/TNS.2006.869826.
- 5 **Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K. A., Apostolakis, J., Araujo, H., Arce, P., Behner, F.** Geant4—a simulation toolkit. *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment,* 2003, 506(3), 250-303, doi:10.1016/S0168-9002(03)01368-8.
- 6 **Antcheva, I., et al.** ROOT—A C++ framework for petabyte data storage, statistical analysis and visualization. *Computer Physics Communications.* 2009, 180(12), 2499-2512, doi:10.1016/j.cpc.2009.08.005.
- 7 **Morgunov, V., Trishch, R., Didenko, N.** Calculation method of the absorbed (equivalent) dose and absorbed

- (equivalent) dose rate of the ionizing radiation. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **18** (1190), 101-106, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.15.
- 8 **Goorley, J. T., James, M., Booth, T., Brown, F., Bull, J. Cox, L. J. Hendricks, J.** Initial MCNP6 release overview-MCNP6 version 1.0. *Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, LA-UR-13-22934.* 2013, **1**, 1-42, doi:10.2172/1086758.
- 9 **Battistoni, G., Cerutti, F., Fasso, A., Ferrari, A., Muraro, S., Ranft, J., Sala, P. R.** The FLUKA code: Description and benchmarking. *In Hadronic Shower Simulation Workshop (AIP Conference Proceedings)*, 2007, **896**, 31-49, doi:10.1063/1.2720455.
- 10 **Colonna, N., Altieri, S.** Simulations of neutron transport at low energy: A comparison between GEANT and MCNP. *Health physics.* 2002, **82**(6), 840-846.

Сведения об авторах (About authors)

Моргунов Владимир Викторович – кандидат технических наук, Украинская инженерно-педагогическая академия, доцент кафедры физики, теоретической и общей электротехники; г. Харьков, Украина; e-mail: volodymyr.morgunov@gmail.com.

Volodymyr Morgunov – Ph. D., Docent, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; e-mail: volodymyr.morgunov@gmail.com.

Диденко Наталья Викторовна – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ассистент кафедры метрологии и БЖД, г. Харьков, Украина; e-mail: natalya.v.didenko@gmail.com.

Natalya Didenko – Assistant lecturer, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: natalya.v.didenko@gmail.com.

Триш Роман Михайлович – доктор технических наук, Украинская инженерно-педагогическая академия, профессор кафедры охраны труда, стандартизации и сертификации; г. Харьков, Украина; e-mail: trich_@ukr.net.

Roman Trishch – Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; e-mail: trich_@ukr.net.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Моргунов, В. В. Численный расчет эффективности радиационной защитной одежды при помощи метода Монте-Карло / **В. В. Моргунов, Н. В. Диденко, Р. М. Триш** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 119-124. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.18.

Please cite this article as:

Morgunov, V., Didenko, N., Trishch, R. Numerical calculation of radiation protective clothing efficiency by using Monte Carlo method // *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25** (1197), 119-124, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.18.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Моргунов, В. В. Чисельний розрахунок ефективності радіаційної захисного одягу за допомогою методу Монте-Карло / **В. В. Моргунов, Н. В. Діденко, Р. М. Триш** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 119-124. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.18.

АНОТАЦІЯ У статті наведено результати чисельних експериментів з моделювання поглинання енергії гамма-випромінювання з/без використання запропонованих радіаційно-захисного костюма і радіаційно-захисного матеріалу (свинцеве скло у вигляді мікросфер). Запропонований метод чисельних експериментів призводить до зниження людських, часових та фінансових ресурсів. При проведенні чисельних експериментів використовувався програмний комплекс GEANT4. Отримані результати дозволяють розраховувати ефективність радіаційно-захисного одягу.

Ключові слова: чисельний експеримент, радіаційно-захисний одяг, гамма-випромінювання, GEANT4.

Поступила (received) 14.06.2016