

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



У Т В Е Р Ж Д А Ю
Декан ФТФ, проф., д.ф.-м.н.
_____ В.И.Бойко
« _____ » _____ 2005г.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАЩИТНЫХ
СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**

методические указания по выполнению лабораторной работы №1 по дисциплине «Материалы ядерной техники» для студентов специальности 140305 (070500) "Ядерные реакторы и энергетические установки"

Томск-2005

УДК 621.039.53(07)

Сравнительный анализ защитных свойств композиционных материалов от гамма-излучения. Методические указания к лабораторной работе №1 по дисциплине «Материалы ядерной техники». для студентов специальности 140305 (070500).-Томск: Изд. ТПУ, 2005.- 12 с.

Составители: доц. каф. ФЭУ Кадлубович Б.Е.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Физико-энергетических установок»

«__»_____2005 г.

Зав.каф. ФЭУ, проф., д.ф.-м.н.

В.И.Бойко

Одобрено методической комиссией ФТФ.

Председатель методической комиссии,

доцент, к.т.н.

В.Д. Каратаев

«__»_____2005 г.

Цель работы: сравнительный анализ защитных свойств композиционных материалов и традиционно применяемого для ослабления гамма-квантов свинца на основе измерения коэффициентов ослабления. Закрепление навыков проведения гамма-спектрометрических измерений на многоканальном амплитудном анализаторе АМА-03ф.

Приборы и оборудование: спектрометр АМА-03ф, источник γ -излучения, набор защитных материалов, сцинтилляционный детектор с защитным экраном, штангенциркуль.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка устройств, генерирующих мощные поля ионизирующих излучений актуализирует задачи защиты от них. При защите от мощных потоков, образованных совокупностью ионизирующих излучений различной природы, традиционно применяются многослойная геометрия и многослойные композиционные материалы. В число задач академического и прикладного характера, возникающих в данных случаях, входит оптимизация сочетания массо-габаритных показателей и защитных свойств конструкций. Последние определяются комплексом характеристик материалов, используемых в этих целях.

Традиционной структурой защитных экранов остается гетерогенная, что обуславливает сложность технологий их изготовления. Отличия ядерно-физических, механических и теплофизических свойств материалов, из которых выполнены отдельные слои гетерогенной структуры приводят к резкой неоднородности поля энерговыделения и, соответственно, поля температур в объеме многослойного материала при воздействии мощного импульса ионизирующего излучения. Таким образом, актуальной является задача поиска путей создания новых материалов, способных работать в условиях стационарного и импульсного воздействия полей ионизирующего излучения. При этом необходимо обеспечить гомогенность и требуемое сочетание различных свойств.

Совершенствование техники радиационной защиты требует решения комплекса задач, часть из которых являются материаловедческими. Одной из современных материаловедческих технологий является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), основанный на способности целого ряда неорганических элементов и соединений вступать в экзотермическую реакцию, распространяющуюся по объему реакционной среды в волновом режиме. Высокое качество и относительно невысокая стоимость СВС-продуктов, обу-

словленная утилизацией химической энергии компонентов, а также возможность быстрого получения широкой номенклатуры материалов в требуемых количествах способствует их успешному применению для решения различных практических задач.

При защите от многофакторного ионизирующего излучения мощных ИИИ необходимо использовать материалы, эффективно ослабляющие различные виды излучений и при этом обладающие необходимыми эксплуатационными характеристиками: прочностными, радиационная и термическая стойкость, химическая инертность и т.д.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Основными видами взаимодействия γ -излучения с веществом являются три процесса: фотоэффект, эффект Комптона и эффект образования электрон-позитронных пар.

Фотоэффектом называется процесс взаимодействия γ -квантов с электроном, связанным с атомом, при котором электрону передается вся энергия γ -кванта. При этом электрон выбрасывается за пределы атома с кинетической энергией: $T_e = E_\gamma - I_i$, где E_γ – энергия γ -кванта; I_i – потенциал ионизации i -ой оболочки атома. Фотоэффект возможен только на связанном электроне. Чем меньше связь электрона с атомом по сравнению с энергией фотона тем менее вероятен фотоэффект.

После выбивания связанного электрона появившийся свободный уровень заполняется электроном, и акт фотопоглощения завершается испусканием вторичного низкоэнергетического характеристического γ -излучения – флуоресценцией.

Комптоновское рассеяние в отличие от фотоэффекта не приводит к полному поглощению γ -кванта. Этот процесс состоит в сле-

дующем: γ -квант в результате упругого взаимодействия с электроном передает ему часть своей энергии и изменяет направление своего движения.

В процессе комптоновского взаимодействия γ -кванты рассеиваются под всевозможными углами от 0 до π .

При достаточно высокой энергии γ -кванта наряду с фотоэффектом и эффектом Комптона может происходить третий вид взаимодействия γ -квантов с веществом – образование электрон-позитронных пар. Процесс образования пар не может происходить в пустоте, а требует обязательного соседства ядра или электрона. Процесс образования пар имеет энергетический порог равный примерно 1.022 МэВ.

Как и при фотоэффекте, процесс образования пар сопровождается относительно низкоэнергетическим γ -излучением, имеющим, однако, другое происхождение. Свободный позитрон нестабилен в присутствии электрона среды и быстро рекомбинирует с одним из них. Исчезновение позитрона сопровождается излучением эквивалентного количества энергии в виде γ -излучения. Таким образом, аннигиляция позитрона и электрона приводит к возникновению двух γ -квантов с энергией 0.511 МэВ.

Для каждого элемента всю область изменения энергии γ -квантов можно разбить на три части, в каждой из которых наиболее вероятен один из рассмотренных трех основных процессов. В случае малых энергий γ -кванты в основном поглощаются при фотоэлектрическом взаимодействии, для средних энергий преобладает комптоновское рассеяние, для высоких энергий процесс образования пар.

Следствием больших отклонений от первоначального направления при рассеянии γ -квантов является экспоненциальный характер уменьшения количества частиц в коллимированном пучке первоначального излучения.

При выборе направления x для распространения коллимированного пучка γ -квантов можно записать равенство некоторой постоянной величине Σ отношение убыли числа γ -квантов $-dn(x)/dx$ на отрезке dx к концентрации γ -квантов в пределах того же отрезка dx

т.е.

$$-\frac{1}{n(x)} \cdot \frac{dn(x)}{dx} = \Sigma.$$

Решение данного уравнения имеет вид:

$$n(x) = n_0 \exp(-\Sigma x). \quad (1)$$

Постоянная величина Σ имеет размерность обратной длины и характеризует среднее число столкновений на единичном пути. Для γ -квантов

её называют линейным коэффициентом ослабления и обозначают символом μ .

Так как ослабление потока γ -квантов происходит в результате нескольких процессов то полный коэффициент поглощения γ -квантов в веществе является суммой коэффициентов поглощения, характеризующих три процесса: $\mu = \mu_{\phi} + \mu_{\hat{e}} + \mu_{\tau}$.

На рис. 1 приведена зависимость коэффициента μ для свинца в функции от энергии для каждого из трех механизмов взаимодействия, а также для суммарного коэффициента.

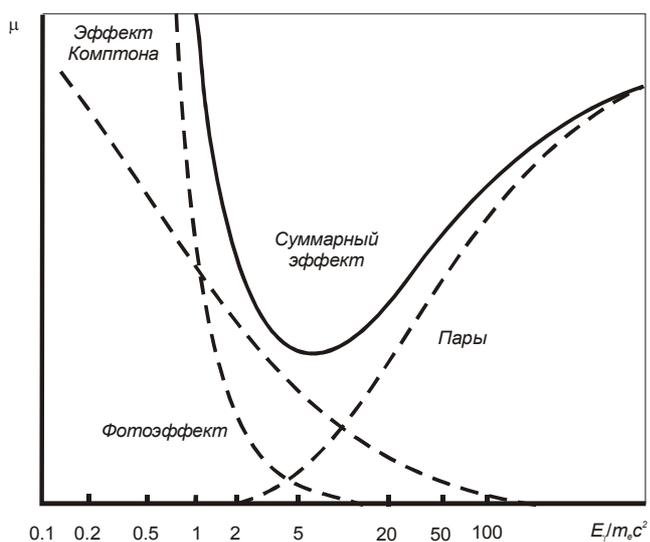


Рис.1

Теоретические формулы для вычисления коэффициентов поглощения γ -квантов в веществе довольно громоздки. Однако коэффициент μ можно измерить экспериментально пользуясь для расчетов формулой (1). Зная коэффициент поглощения, можно определить энергию γ -излучения источника.

АКТИВНАЯ ЗОНА - КАК ИСТОЧНИК γ -ИЗЛУЧЕНИЯ

Активная зона ядерного реактора характеризуется как мощный источник нейтронов, первичных и вторичных γ -квантов. Для обеспечения защиты обслуживающего персонала и нормальной эксплуатации реактора как при его работе так и при ремонте необходимо значительно снизить уровень потока ионизирующего излучения из активной зоны реактора, так как потоки нейтронов и γ -излучения на выходе из активной зоны превосходят предельно допустимые в миллионы и миллиарды раз. Для снижения уровня излучения активной зоны реактора служит радиационная защита.

При работающем ядерном реакторе основными источниками γ -излучения являются мгновенное γ -излучение, возникающее при делении ядра U^{235} ; γ -излучение продуктов деления, испускаемое в течении 10 минут после деления, и γ -излучение долгоживущих продуктов деления, выделяющиеся за время, большее 10 минут, после деления; захватное γ -излучение в результате (n, γ) -реакции, возникающее при захвате тепловых и надтепловых нейтронов ядрами топлива, теплоносителя, замедлителя, и конструкционных материалов реактора. Второстепенное значение при работающем ядерном реакторе имеют

γ -излучение при неупругом рассеянии нейтронов $(n, n\gamma)$ -реакции; тормозное γ -излучение, возникающее при поглощении β -излучения продуктов деления материалами активной зоны; γ -излучение продуктов активации (поглощение нейтронов стабильными ядрами материалов активной зоны и теплоносителем); γ -излучение сопровождающее (n, p) -, (n, α) -реакции; γ -излучение при аннигиляции позитронов.

При остановленном ядерном реакторе основными источниками γ -излучения являются γ -излучение долгоживущих продуктов деления и активационное γ -излучение. Вклад других γ -источников в суммарную плотность потока γ -излучения незначителен.

МАТЕРИАЛЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Для защиты от ионизирующего излучения необходимо выбирать материал с учетом защитных и механических свойств, а также его стоимости, массы и объема.

Помимо защитных свойств, материалы должны быть конструкционно-прочными; иметь высокую радиационную и термическую стойкость, огнестойкость, жаростойкость, химическую инертность; не выделять ядовитых и взрывоопасных с резким запахом газов под действием нагрева и облучения; сохранять стабильную форму и размеры, необходимо также учитывать простоту монтажа, возможность механической обработки, стоимость и доступность материалов.

Защитные свойства материалов от нейтронного излучения определяются их замедляющей и поглощающей способностью, степенью активации. γ -Излучение наиболее эффективно ослабляется материалами с высокой плотностью.

Рассмотрим материалы предлагаемые для исследования в данной работе. **Карбид бора** применяется для защиты от нейтронного излучения. Хрупок, обладает высокой термостойкостью. Рабочая температура на воздухе до 800 К, в инертной среде до 1800 К. При поглощении тепловых нейтронов в результате ядерной реакции

$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ образуется гелий и литий. Скопление гелия в порах при высокой температуре может привести к увеличению давления в газовой полости, вследствие чего возникают трещины в материале. **Свинец** используется в защите в виде отливок (очехлованных стальными листами), листов, дробы. Из имеющихся дешевых материалов свинец обладает наиболее высокими защитными свойствами от γ -излучений. Его целесообразно использовать при необходимости ограничения размеров и массы защиты. Применение свинца ограничивается низкой температурой плавления (600 К). Такой защитный материал как вольфрам может использоваться в горячих зонах, в которых применение свинца исключается. Использование вольфрама для защиты промышленных реакторов нецелесообразно, так как он крайне дорог.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одной из современных материаловедческих технологий является самораспространяющийся высокотемпературный синтез, основанный на способности целого ряда неорганических элементов и соединений вступать в экзотермическую реакцию, распространяющуюся по объему реакционной среды в волновом режиме. Высокое качество и относительно не высокая стоимость СВС-продуктов, обусловленная утилизацией химической энергии компонентов, а также возможность быстрого получения широкой номенклатуры материалов в требуемых количествах способствует их успешному применению для решения различных практических задач. Одной из таких задач является получение различных защитных материалов.

Традиционной структурой защитных экранов остается гетерогенная. Отличие ядерно-физических, механических и теплофизических свойств материалов, из которых выполнены отдельные слои гетерогенной структуры приводят к резкой неоднородности поля энерговыделения и, соответственно, поля температур в объеме многослойного материала при воздействии мощного потока ионизирующего излучения. СВС позволяет получать материалы, способные рабо-

тать в условиях стационарного и импульсного воздействия мощных потоков ионизирующего излучения различной природы, а также обеспечить гомогенность и требуемое сочетание различных свойств.

В данной работе предлагается исследовать защитные свойства от потоков γ -квантов соединений WB и B_4C полученных методом СВС и сравнению их с защитными свойствами традиционно применяемого для этих целей свинца.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка схематически представлена на рис. 2 (S–источник излучения, К–коллиматоры, П–поглотитель, С–сцинтиллятор, Ф–ФЭУ, А–АМА-03Ф, Кл–клавиатура, М–монитор, БП–высоковольтный блок питания). Расположение узлов установки должно соответствовать условиям хорошей геометрии, которые требуют, чтобы погрешности измерений за счет не параллельности пучка γ -квантов и попадание рассеянных γ -квантов были сравнимы между собой и достаточно малы. Для этой цели в установке используются

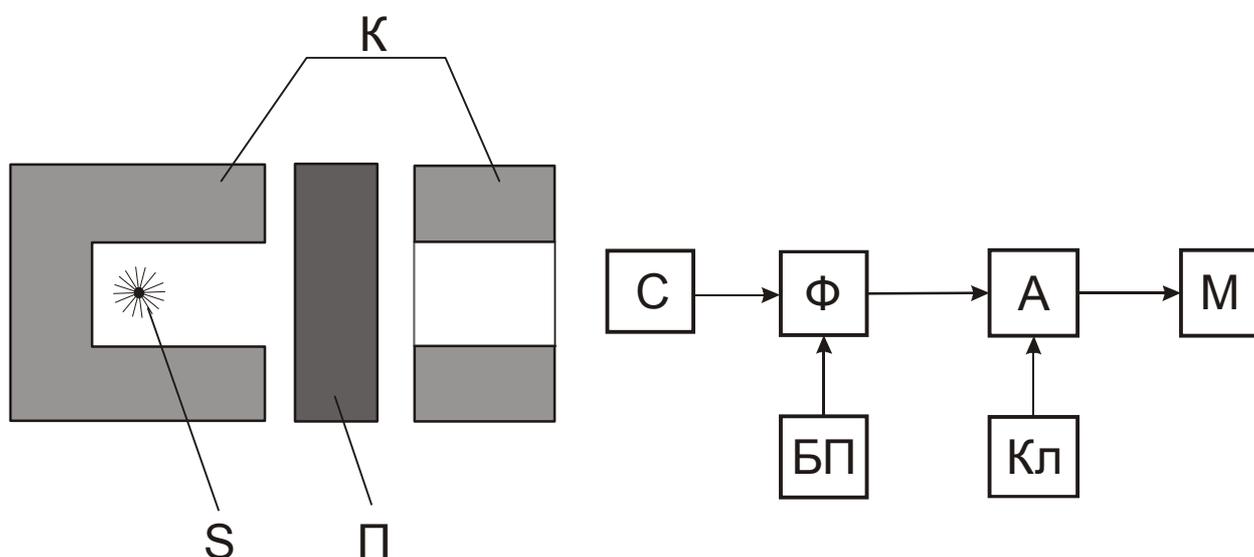


Рис. 2

свинцовые коллиматоры, назначение которых состоит в том, чтобы выделить узкий пучок γ -квантов и ограничить попадание на ФЭУ γ -квантов, рассеянных поглотителем и защитой.

В качестве источника γ -квантов используется препарат радиоактивного изотопа цезия Cs^{137} . Изотоп Cs^{137} β -радиоактивный с периодом полураспада $T_{1/2} = 30$ лет



Переход ядра бария из метастабильного состояния в основное происходит с испусканием γ -кванта. Период полураспада метастабильного бария равен 2,55 мин.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методическое указание по работе на многоканальном амплитудном анализаторе АМА – 03Ф. Включить установку и дать ей прогреться не менее 30 минут. Задать общее время экспозиции для всех измерений 100 с.
2. Зафиксировать источник γ -квантов над детектором и измерить чистый спектр источника, выделить наиболее яркий пик и подсчитать его площадь (для дальнейших измерений использовать только его).
3. Поочередно измерить зависимость площади пика от толщины поглотителя x и d для Pb , WB , B_4C . Результаты измерений занести в таблицу:

Материал	№	Толщина x , см	Массовая толщина d , г/см ²	$S_{\text{пика}}$	$S_{\text{пика}}/S_0$	μ
Pb 11.3 г/см ³	1.					
	2.					
	3.					
WB 5.3 г/см ³	1.					
	2.					
	3.					
B ₄ C 1.2 г/см ³	1.					
	2.					
	3.					

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Построить зависимости линейного коэффициента ослабления $f(x) = \ln S(x) - \ln S_0$ и $f(d) = \ln S(d) - \ln S_0$ для всех материалов.
2. Определить значение коэффициентов поглощения γ -излучения Pb , Wb , B_4C . Для этого необходимо определить тангенсы углов наклона построенных прямых $\mu = tg\alpha$.
3. Используя рис.3 оценить энергию γ -квантов источника, сравнить полученное значение с известными и оценить погрешность измерений.
4. Сравнить спектры γ -квантов за защитой из композиционных материалов и из свинца.
5. По результатам проделанной работы сделать выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. За счет каких процессов происходит ослабление потока γ -квантов?
2. Какой процесс взаимодействия γ -квантов с веществом преобладает в области низких энергий?
3. Для чего в лабораторной установке применяются коллиматоры?
4. Чем ограничивается применение свинца в качестве защитного материала?
5. В чем преимущества защитных материалов полученных методом СВС перед традиционными?
6. Чем определяется погрешность определения коэффициентов ослабления в данной работе?

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник лабораторных по ядерной физике: Учебное пособие для вузов/Под ред. проф. К.Н. Мухина–М.: Атомиздат, 1979 г.
2. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учебник для вузов. Т. 1. Физика атомного ядра.–М.: Энергоатомиздат, 1983 г.
3. Гусев Н.Г., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений. Т. 1. Физические основы защиты от излучений: Учебник для вузов.–М.: Атомиздат, 1980 г.
4. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: Учебник для вузов/Под ред. Е.Л. Столяровой.–М.: Энергоатомиздат, 1986 г.

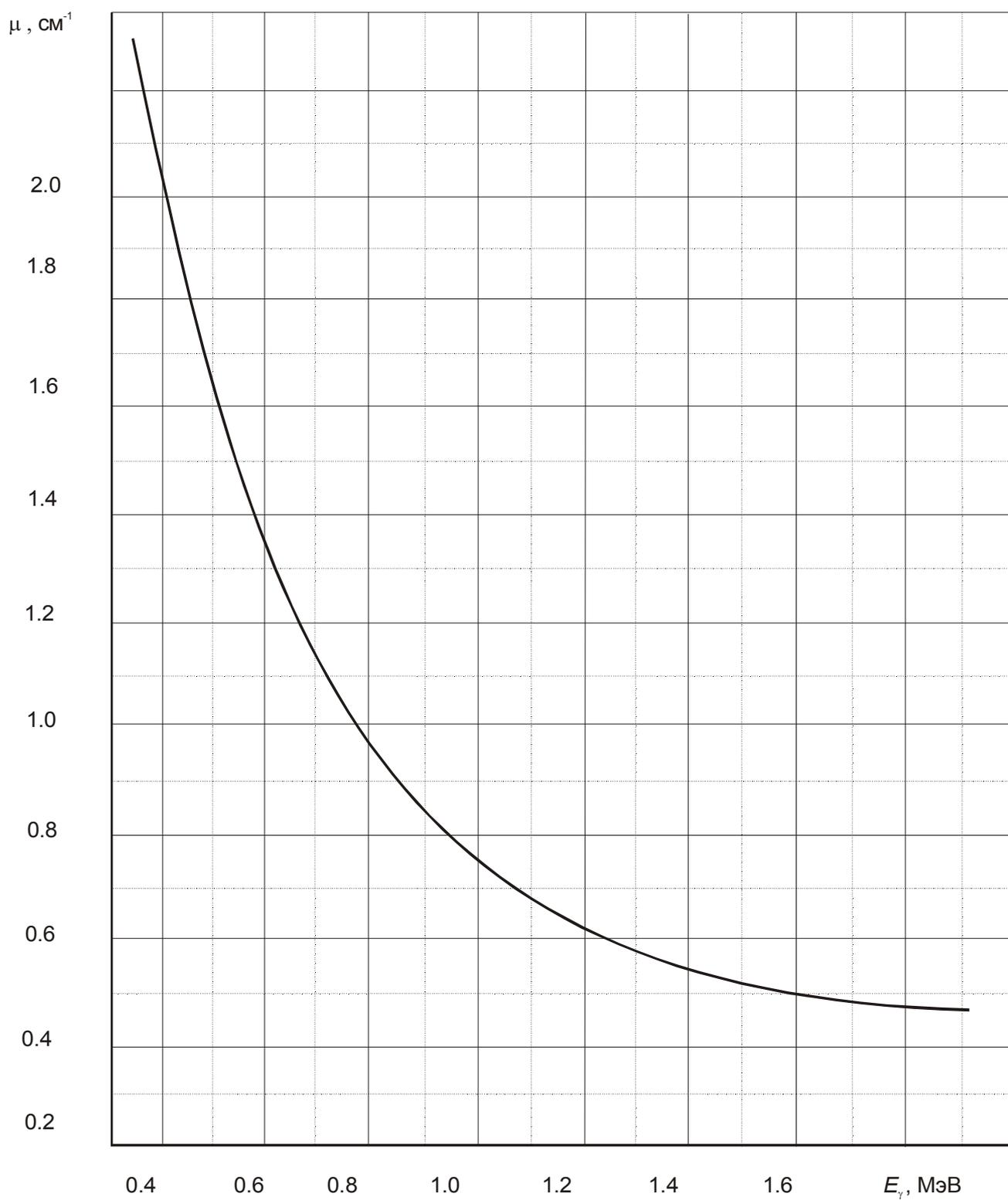


Рис. 3