

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра экологии

***ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ
СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ***

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для практических занятий по дисциплине

«Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях.

Радиационная безопасность»

Минск 2008

УДК 621.039 (075.8)
ББК 68.69 я73
О–93

А в т о р ы :

А. И. Навоша, Е. Н. Зацепин, Е. В. Гончарик, А. С. Рылов, Д. А. Мельниченко

Оценка устойчивости работы электронных систем при воздействии ионизирующих излучений: метод. пособие для практич. занятий по дисц. «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность» / А. И. Навоша [и др.]. – Минск : БГУИР, 2008. – 18 с.

ISBN 978-985-488-304-5

Содержится инженерная методика оценки устойчивости работы электронных систем при воздействии ионизирующих излучений. Приведены примеры решения задач и варианты для самостоятельной работы студентов. В приложениях приводятся необходимые справочные материалы.

Издание предназначено для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР.

УДК 621.039 (075.8)
ББК 68.69 я73

ISBN 978-985-488-304-5

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

1. Понятие об устойчивости работы радиоэлектронных систем

В современных условиях, когда научно-технический прогресс привел к созданию оружия массового поражения, роль и значение экономики как важнейшего фактора подготовки и ведения войны возросли ещё больше. Чтобы обеспечить нормальное функционирование производства, уменьшить вероятность поражения объекта, следует ещё в мирное время разработать и осуществить комплекс различных мероприятий, направленных на повышение устойчивости работы хозяйственных объектов в особый период. Главная производительная сила – это трудящиеся массы, и поэтому устойчивость экономики определяется прежде всего способностью защитить и сохранить эту силу.

Современное ракетно-ядерное оружие обладает огромной разрушительной и поражающей силой. Оно способно вызывать большие человеческие жертвы и причинять огромный материальный ущерб.

Решение проблемы защиты населения и обеспечения надежности функционирования предприятий и организаций актуально также в интересах повседневной деятельности мирного времени в связи с тем, что на объектах хозяйств имеется большое количество химически опасных веществ, веществ атомной энергетики, аварии на которых могут создать крайне опасную обстановку для экологии и населения на значительной территории.

Поражающими факторами ядерного оружия являются ударная волна, световое излучение, проникающая радиация, радиоактивное заражение и электромагнитный импульс. В зависимости от типа ядерного заряда и характера происходящих взрывных реакций различают два основных вида ядерных боеприпасов: атомные (ядерные) и термоядерные.

В атомных боеприпасах энергия взрыва образуется в результате цепной реакции деления тяжелых ядер атомов вещества нейтронами. При определенной массе заряда (большей его критического значения) протекает цепная ядерная реакция деления атомных ядер в миллионные доли секунд. При этом имеет место выделение огромного количества энергии.

В термоядерных боеприпасах используются ядерные реакции синтеза (соединения) атомных ядер легких элементов дейтерия и трития.

Протекание реакции может возникнуть при температуре в десятки миллионов градусов. Такую температуру удалось получить пока лишь в зоне цепной ядерной реакции; в качестве запального устройства в термоядерных боеприпасах используются ядерные заряды деления. В термоядерном боеприпасе вслед за взрывной реакцией деления, которая вызывает нагрев термоядерного горючего, происходит интенсивная реакция соединения ядер атомов дейтерия и трития, сопровождающаяся выделением огромного количества энергии.

Ядерные заряды, в которых кроме реакции деления происходит реакция синтеза атомных ядер легких элементов, называются термоядерными зарядами. В таких зарядах, кроме плутония-239, урана-235 или урана-233, ядерным горючим веществом является смесь дейтерия и трития или соединение дейтерия с литием (дейтерид лития). При использовании дейтерида лития образование трития происходит в процессе самой реакции.

Термоядерная реакция сопровождается выделением быстрых нейтронов, обуславливающих деление ядер урана-238.

Поражающими факторами взрыва нейтронного боеприпаса являются: ударная волна, световое излучение, проникающая радиация и радиоактивное заражение. Однако распределение энергии по поражающим факторам в нейтронном боеприпасе отличается от ядерного боеприпаса реакции деления и зависит от соотношения энергии основного и иницирующего зарядов. В прил. 1 приведено распределение энергии взрыва по поражающим факторам для нейтронного боеприпаса с соотношением энергий основного и иницирующего зарядов 50:50. При идеальной реакции синтеза до 80 % энергии может выделяться в виде нейтронов и лишь 20 % – в виде ударной волны, теплового и светового излучения.

Нейтронные боеприпасы предназначены прежде всего для поражения людей. Поражающее действие проникающей радиации взрыва нейтронного бо-

ебрипаса на человека определяется воздействием на организм нейтронов и сопутствующего гамма-излучения, в результате чего развивается лучевая болезнь, тяжесть которой определяется дозой облучения. По поражающему действию проникающей радиации на людей взрыв нейтронного боеприпаса в 1 кт эквивалентен взрыву атомного боеприпаса мощностью 10–12 кт.

Радиус поражения людей нейтронным потоком превышает радиус поражающего действия ударной волны и светового излучения почти в 4 раза.

В зависимости от полученной организмом человека дозы облучения различают четыре степени лучевой болезни.

Защитой от проникающей радиации служат преграды и укрытия из различных материалов, ослабляющих поток гамма-квантов и нейтронов. Степень ослабления зависит от свойств материалов и толщины защитного слоя.

Действие проникающей радиации на материалы и оборудование зависит в основном от вида излучения, дозы облучения, природы облучаемого вещества и условий окружающей среды. Наиболее подвержено действию проникающей радиации электронное оборудование, в том числе электронные вычислительные машины, оптические приборы и др.

В материалах и элементах электронной техники при кратковременном воздействии проникающей радиации возникают временные (обратимые) и остаточные (необратимые) изменения электрических параметров. Гамма-кванты вызывают обычно временные изменения, а нейтроны – остаточные.

Проходя через элементы радиоэлектронной аппаратуры, поток гамма-квантов создает в них свободные носители электрических зарядов – электроны и ионы. В результате этого повышается проводимость материалов, увеличивается утечка тока и снижается сопротивление, в газоразрядных приборах уменьшается напряжение зажигания. Эти изменения существуют несколько секунд, вызывая временный отказ в работе аппаратуры. Но в ряде случаев они могут надолго вывести аппаратуру из строя (короткое замыкание, пробой, и др.).

При облучении потоком нейтронов в радиодеталях происходят необратимые процессы и аппаратура выходит из строя.

Наиболее подвержены действию проникающей радиации полупроводниковые приборы, причем особенно опасно для них нейтронное излучение. Нейтроны способны проникать в глубь кристаллической решетки полупроводников и создавать примеси. Нарушение кристаллической структуры приводит к необратимым изменениям свойств полупроводников, в частности в транзисторах изменяются обратный ток и коэффициент усиления.

Наиболее чувствительны к облучению электролитические и бумажные конденсаторы. При облучении в диэлектриках понижаются напряжения пробоя и сопротивление утечки, а также изменяются проводимость и внутренний нагрев.

Электрорадиационные приборы чувствительны также к воздействию радиации, особенно телевизионные передающие трубки и фотоэлементы.

Среди резисторов наименее стойкие – композиционные угольные и переменные сопротивления, а наиболее стойкие – проволочные.

Под действием гамма-излучения ухудшаются также диэлектрические свойства изоляционных материалов, возникают токи утечки.

Максимально допустимые значения гамма-нейтронного излучения на элементы радиоаппаратуры приведены в прил. 2.

Для повышения надежности работы электронного оборудования в условиях воздействия проникающей радиации необходимо применять защитные экраны, использовать специальные схемы, в которых предусматривается блокировка возникающих избыточных токов и напряжений или выключение схемы в момент действия импульса радиации.

Критерием устойчивости работы электронных и электронно-оптических систем и приборов при воздействии проникающей радиации и радиоактивности заражения являются максимально допустимый поток нейтронов Φ_n , экспозиционная доза C_y и мощность экспозиционной дозы P_x гамма-излучений, при

которых начинаются изменения параметров элементов, но работа систем (приборов) ещё не нарушается, прил. 2.

Нейтронное излучение представляет собой поток нейтронов, скорость которых может достигать 20 000 км/с. Так как нейтроны не имеют электрического заряда, они легко проникают в ядра атомов и захватываются ими. Нейтронное излучение оказывает сильное поражающее действие при внешнем облучении.

Сущность ионизации заключается в том, что под воздействием радиоактивных излучений электрически нейтральные в нормальных условиях атомы вещества распадаются на положительные и отрицательные ионы. Ионизация вещества сопровождается изменением его основных физико-химических свойств, а в биологической ткани – нарушением её жизнедеятельности.

Экспозиционная доза характеризует ионизационную способность гамма- и рентгеновского излучения в воздухе. Экспозиционная доза C_y – это отношение суммарного заряда dQ всех ионов одного знака, образовавшихся в элементарном объеме воздуха при облучении его ионизирующим излучением, к массе воздуха dm в этом объеме:

$$X = \frac{dQ}{dm}.$$

Единица измерения экспозиционной дозы в системе СИ – кулон на килограмм (Кл/кг). Внесистемная единица – рентген (Р).

Важной характеристикой ионизирующих излучений является мощность экспозиционной дозы облучения P_x . Она показывает скорость изменения дозы облучения во времени, т.е.

$$P_x = \frac{dX}{dt}.$$

Мощность экспозиционной дозы облучения измеряется так: в системе СИ – кулон, деленный на килограмм и умноженный на час; внесистемная единица – рентген, деленный на час.

Параметры проникающей радиации, ожидаемые на объекте, можно считать по следующим приближенным формулам:

поток нейтронов Φ_n , н/м² (н – количество нейтронов):

$$\Phi_n = \frac{7,5 \cdot 10^{22}}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{Rr_b}{170r_{bo}} \right),$$

где R – расстояние от эпицентра взрыва, м;

q – мощность ядерного взрыва, кт;

r_b / r_{bo} – отношение плотности воздуха на высоте взрыва к плотности воздуха у земли, определяемое по прил. 3.

Мощность дозы гамма-излучений, Р/с:

$$P_x = \frac{1,0 \cdot 10^{15}}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{Rr_b}{250r_{bo}} \right).$$

Доза гамма-излучения X_γ является суммой мгновенного $X_{мгн}$, осколочно-го $X_{оск}$ и захватного $X_{захв}$ гамма-излучений, т.е.

$$X_\gamma = X_{мгн} + X_{оск} + X_{захв}.$$

Мгновенное гамма-излучение $X_{мгн}$ происходит за десятые доли микросекунды от момента ядерного взрыва. Проходя через оболочку заряда, оно существенно ослабляется. Поэтому роль мгновенного гамма-излучения в поражающем действии проникающей радиации незначительна.

Осколочное гамма-излучение $X_{оск}$ создается осколками деления ядерного горючего. Время действия его на наземные объекты зависит от мощности взрыва.

Захватное гамма-излучение $X_{захв}$ образуется вследствие захвата нейтронов продуктами взрыва и воздухом. Оно является основным источником гамма-излучения при наземных и воздушных ядерных взрывах.

Величины доз облучения, указанные выше, можно рассчитать по приближенным формулам:

$$X_{мгн} = \frac{1,0 \cdot 10^8}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{Rr_b}{250r_{bo}} \right);$$

$$X_{оск} = \frac{1,4 \cdot 10^9 (1 + 0,2q^{0,65})}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{Rr_b}{300r_{bo}} \right);$$

$$X_{захв} = \frac{5,0 \cdot 10^8}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{Rr_b}{410r_{bo}} \right).$$

2. Пример решения задачи по оценке устойчивости оборудования объекта

Задача

Оценить устойчивость электронного оборудования сборочного цеха завода при воздействии проникающей радиации от взрыва нейтронного боеприпаса при следующих исходных данных: удаление цеха от вероятной точки прицеливания $R_r = 1,1$ км, мощность боеприпаса $q = 5$ кт, вероятное максимальное отклонение боеприпаса от точки прицеливания $r_{отк} = 0,1$ км, взрыв воздушный на высоте 2 км. ЭВМ установлена в одноэтажном производственном здании. Основой ЭВМ являются интегральные микросхемы.

Решение

1. Определяем минимальное расстояние до вероятного центра взрыва:

$$R_x = R_r - r_{отк} = 1,1 - 0,1 = 1 \text{ км} = 1000 \text{ м.}$$

2. Рассчитываем максимальные параметры проникающей радиации потока нейтронов, мощности дозы облучения и величины экспозиционной дозы гамма-излучений, ожидаемые на объекте при ядерном взрыве:

поток нейтронов

$$\Phi_n = \frac{7,5 \cdot 10^{22}}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{R \cdot r_B}{170 \cdot r_{BO}} \right) = \frac{7,5 \cdot 10^{22}}{1000^2} \cdot 5 \exp \left(-\frac{1000 \cdot 0,822}{170} \right) \approx 3 \cdot 10^{15} \text{ н/м}^2;$$

мощность дозы гамма-излучения

$$P_x = \frac{1,0 \cdot 10^{15}}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{R \cdot r_B}{250 \cdot r_{BO}} \right) = \frac{1,0 \cdot 10^{15}}{1000^2} \cdot 5 \exp \left(-\frac{1000 \cdot 0,822}{250} \right) \approx 1,86 \cdot 10^8 \text{ Р/с};$$

доза мгновенного гамма-излучения

$$X_{\text{МГН}} = \frac{1,0 \cdot 10^8}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{R \cdot r_B}{250 \cdot r_{BO}} \right) = \frac{1,0 \cdot 10^8}{1000^2} \cdot 5 \exp \left(-\frac{1000 \cdot 0,822}{250} \right) \approx 1,86 \text{ Р};$$

доза осколочного гамма-излучения

$$\begin{aligned} X_{\text{оск}} &= \frac{1,4 \cdot 10^9 (1 + 0,2 \cdot 5^{0,65})}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{R \cdot r_B}{300 \cdot r_{BO}} \right) = \\ &= \frac{1,4 \cdot 10^9 (1 + 0,2 \cdot 5^{0,65})}{R^2} \cdot 5 \exp \left(-\frac{1000 \cdot 0,822}{300} \right) \approx 7,1 \cdot 10^2 \text{ Р}; \end{aligned}$$

доза захватного гамма-излучения

$$X_{\text{захв}} = \frac{5,0 \cdot 10^8}{R^2} \cdot q \cdot \exp \left(-\frac{R \cdot r_B}{410 \cdot r_{BO}} \right) = \frac{5,0 \cdot 10^8}{R^2} \cdot 5 \cdot \exp \left(-\frac{1000 \cdot 0,822}{410} \right) \approx 3,4 \cdot 10^2 \text{ Р.}$$

Полная доза гамма-излучения составит:

$$X_g = X_{\text{МГН}} + X_{\text{оск}} + X_{\text{захв}} = 18,6 + 7,1 \cdot 10^2 + 3,4 \cdot 10^2 = 1068,6 \text{ Р.}$$

3. Находим коэффициент ослабления радиации зданием цеха $K_{\text{осл.зд.пр}}$, прил. 4. Он равен 5.

4. Определяем допустимые параметры проникающей радиации Π_d для открытой местности ($K_{\text{осл}} = 1$) и с учётом ослабления радиации зданием цеха ($K_{\text{осл.зд.пр}} = 5$).

5. По прил. 2 для микросхем определяем предел устойчивости ЭВМ – максимальные допустимые параметры проникающей радиации:

$$\Phi_{n\text{lim}} = 5 \cdot 10^{15} \text{ н/м}^2; P_{x\text{lim}} = 10^4 \text{ Р/с}; X_{g\text{lim}} = 10^5 \text{ Р}.$$

6. Определяем отношение расчётных (ожидаемых) значений параметров к допустимым Π_p / Π_d .

7. Полученные результаты записываем в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки устойчивости работы ЭВМ цеха
к воздействию проникающей радиации

Параметры проникающей радиации	Расчётные (ожидаемые) Π_p	Допустимые Π_d		Отношение Π_p/Π_d
		$K_{\text{осл}}=1$	$K_{\text{осл}}=5$	
$\Phi_n, \text{н/м}^2$	$3 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$	$2,5 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
$P_x, \text{Р/с}$	$1,86 \cdot 10^8$	10^4	$5 \cdot 10^4$	3720
$X_\gamma, \text{Р}$	$9,58 \cdot 10^2$	10^5	$5 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^{-3}$

8. Анализируем полученные результаты и делаем вывод, что наиболее опасным для ЭВМ цеха является гамма-излучение, где предел устойчивости $P_{x\text{lim}} = 10^4 \text{ Р/с}$. Поэтому ЭВМ необходимо защитить от гамма-излучения экраном, который должен обеспечить $K_{\text{осл}} \geq 3720$.

9. Определяем параметры экрана для защиты ЭВМ от нейтронов, воспользовавшись графиком прил.5, от гамма-излучений – графиком прил. 6.

Для ослабления поражающего воздействия в 3 720 раз (указанного в задаче) необходимо иметь защитный экран из железобетона примерно 115 см.

3. Самостоятельная работа

Задача

Оценить устойчивость электронного оборудования сборочного цеха завода при воздействии проникающей радиации от взрыва нейтронного боеприпаса. Электронное оборудование установлено в одноэтажном производственном здании. Исходные данные вариантов задачи приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для задачи

Исходные данные	Номер варианта					
	1	2	3	4	5	6
Удаление цеха от точки прицеливания R_r , км	1,6	1,1	1,5	1,4	1,3	1,2
Мощность боеприпаса q , кт	5	4	5	6	3	6
Отклонение боеприпаса от точки прицеливания $r_{отк}$, км	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Высота взрыва боеприпаса, км	3,0	1,0	3,0	1,0	5,0	2,0
Основой электронного оборудования являются	Микросхемы	Транзисторы, диоды	Выпрямители	Инфракрасная техника	Микросхемы	Оптические приборы

Исходные данные	Номер варианта					
	7	8	9	10	11	12
Удаление цеха от точки прицелива- ния R_T , км	1,2	1,7	1,7	1,8	1,65	1,45
Мощность бое- припаса q , кт	4,5	7,0	8,0	9,0	2,0	3,0
Отклонение бое- припаса от точки прицеливания $r_{отк}$, км	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Высота взрыва боеприпаса, км	5,0	8,0	3,0	10,0	4,0	5,0
Основой элек- тронного оборудо- вания являются	магнитные материалы	выпрями- тели	диэлектриче- ские мате- риалы	электричес- кие батареи	интеграль- ные схемы	конден- саторы

Контрольные вопросы

1. Цель применения термоядерных боеприпасов, принцип их действия и устройство.
2. Основное назначение термоядерного оружия и его поражающие факторы.
3. Характеристика видов лучевой болезни.
4. Критерии устойчивости работы радиоэлектронных систем и их характеристика.
5. Понятие об экспозиционной дозе облучения и единицах её измерения.
6. Мощность экспозиционной дозы облучения и единицы её измерения.
7. Виды гамма-излучений и их характеристика.
8. Основные способы защиты радиоэлектронных систем от проникающей радиации.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Распределение энергии по поражающим факторам, %

Поражающие факторы	Нейтронный боеприпас	Обычный ядерный боеприпас
Ударная волна	40	50
Световое излучение	25	35
Проникающая радиация	30	4
Радиоактивное заражение	5	10
Электромагнитный импульс	-	1

Приложение 2

Максимально допустимые потоки нейтронов, экспозиционных доз и мощности дозы гамма-излучений для материалов и элементов радиоэлектронной и оптико-электронной аппаратуры

Элементы радиоаппаратуры и материалы	Поток нейтронов, н/м ²	Мощность дозы гамма-излучения, Р/с	Доза гамма-излучения, Р
1	2	3	4
Транзисторы, диоды общего назначения	$10^{15} \dots 10^{18}$	10^5	$10^4 \dots 10^6$
Микросхемы	$5 \cdot 10^{15}$	10^4	10^5
Интегральные схемы	$10^{17} \dots 10^{21}$	10^5	$5 \cdot 10^5$
Радиолампы	$9 \cdot 10^{19}$	$5 \cdot 10^6$	—
Конденсаторы	$10^{18} \dots 10^{21}$	10^5	$10^7 \dots 10^9$
Резисторы	$2 \cdot 10^{19}$	10^6	$10^7 \dots 10^9$

Окончание прил. 2

1	2	3	4
Элементы инфракрасной техники	10^{17}	10^3	$10^5 \dots 10^6$
Оптические приборы	10^{17}	10^3	$10^5 \dots 10^6$
Магнитные материалы	10^{19}	10^7	-
Диэлектрические материалы	$10^{21} \dots 10^{25}$	10^4	10^{10}

Примечание. Выход из строя элементов и материалов происходит при значениях на два порядка больше указанных в таблице.

Приложение 3

Отношение плотности воздуха на различных высотах к плотности у земли
для стандартной атмосферы

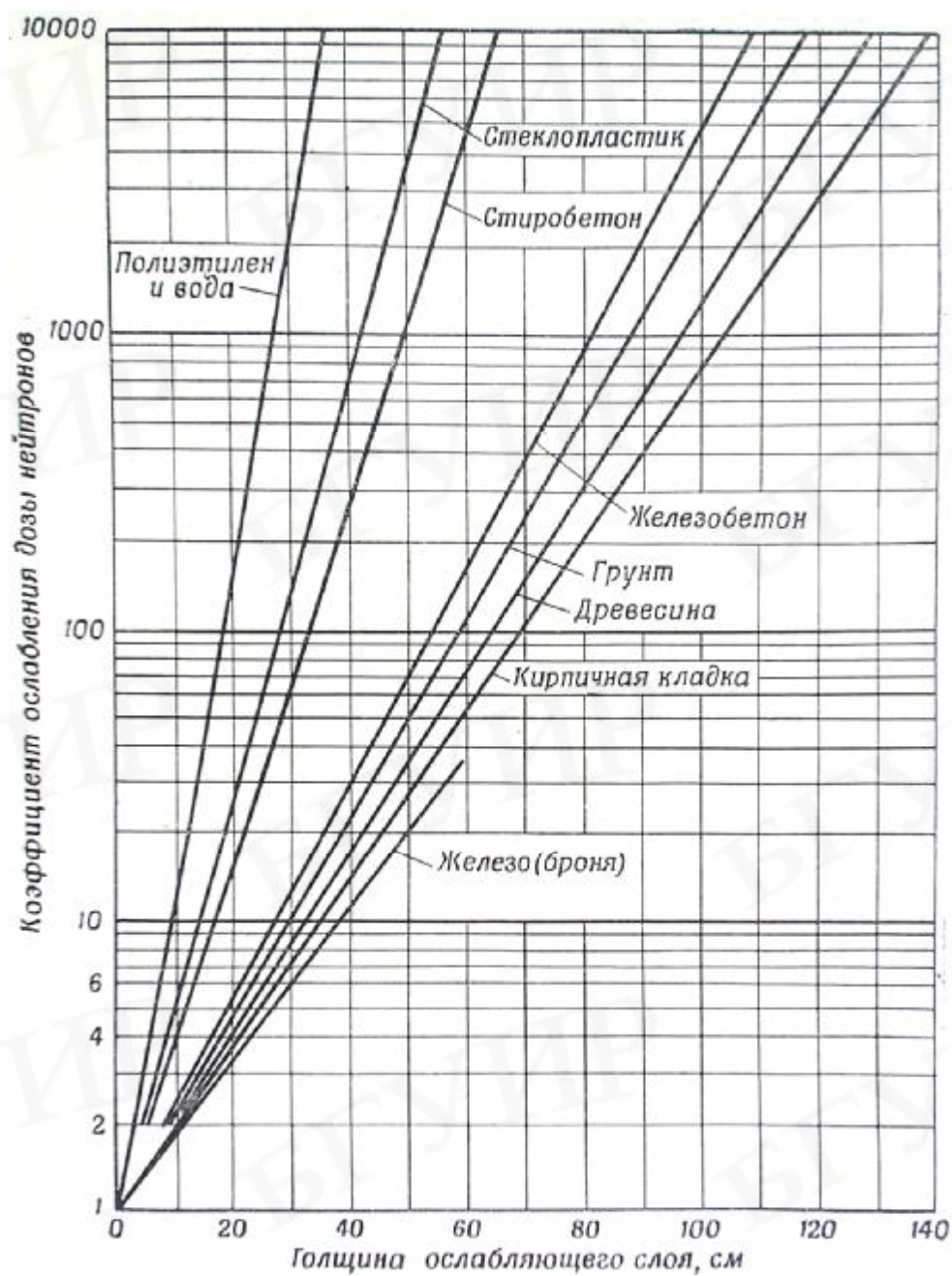
Высота, км	0	1	2	3	4	5	8	10	15
r_b / r_{bo}	1	0,907	0,822	0,742	0,669	0,601	0,428	0,337	0,156

Приложение 4

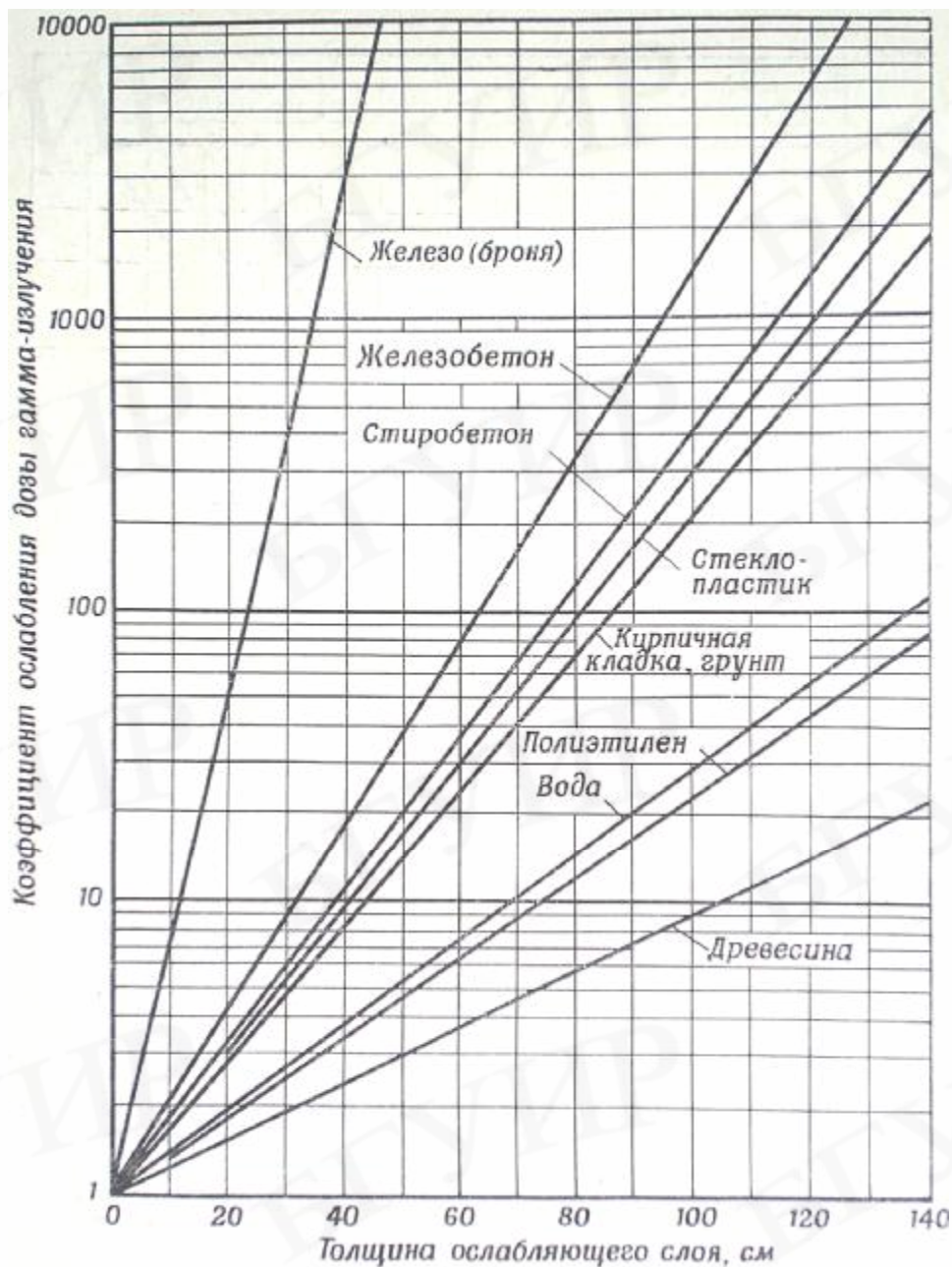
Коэффициенты ослабления доз радиации зданиями и сооружениями
($K_{\text{осл.зд.рз}}$ и $K_{\text{осл.зд.пр}}$)

Здания и сооружения	От радиоактивного заражения	От проникающей радиации
Производственные одноэтажные здания (цеха)	7	5
Здания из сборного железобетона	8	6
Здания с лёгким металлическим каркасом	5	4
Кирпичное одноэтажное здание	10	6
Здания с металлическим каркасом и бетонным заполнением	12	8

Зависимость степени ослабления дозы нейтронов от толщины материалов



Зависимость степени ослабления дозы гамма-излучения
от толщины материалов



ЛИТЕРАТУРА

1. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: справочник / Г. П. Демиденко [и др.]. – Киев, 1989.
2. Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие / И. С. Асаёнок [и др.]. – Минск, 2000.

Учебное издание

Навоша Адам Имполитович
Зацепин Евгений Николаевич
Гончарик Елена Валентиновна и др.

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ
СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

Методическое пособие
для практических занятий по дисциплине
«Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях.
Радиационная безопасность»

Редактор Т. Н. Крюкова

Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 25.06.2008.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,0.

Формат 60×84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 300 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,28.
Заказ 97.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6