

## РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КАБЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕЙ ПРОКЛАДКИ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Беспрозванных А.В., доц., к.т.н.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21 кафедра "Электроизоляционная и кабельная техника"  
тел. (057) 70-76-010, e-mail: bezprozvannych@kpi.kharkov.ua

Набока Б.Г., проф., д.т.н.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21 кафедра "Электроизоляционная и кабельная техника"  
тел. (057) 70-76-010, e-mail: naboka\_@kpi.kharkov.ua

Морозова Е.В.,  
ОАО "Одескабель"

Украина, 65013, Одесса, ул. Николаевская, 164, e-mail: morozova@Odescable.com.ua

*Розглянуто вплив випромінюючої радіації на електричну ємність та кут діелектричних втрат загальнопромислових неекраниваних мережевих кабелів п'ятої категорії. Встановлено, що зміна ємності не перевищує 10% при дозі радіації до 30 Мрад. Критерій радіаційної стійкості з tgδ не витримується, починаючи з дози вище 10 Мрад. Кабелі з не радіаційно-модифікованою поліетиленою ізоляцією та полівінілхлоридною захисною оболонкою можуть працювати при дозах радіації до 10 Мрад.*

*Рассмотрено влияние радиационного излучения на электрическую емкость и тангенс угла диэлектрических потерь общепромышленных сетевых кабелей пятой категории. Установлено, что изменение емкости не превышает 10%. По tgδ критерий радиационной стойкости превышен при дозе выше 10 Мрад. Кабели общепромышленного применения с не радиационно-модифицированной полиэтиленовой изоляцией и поливинилхлоридной защитной оболочкой могут работать при дозах радиации до 10 Мрад.*

### ВВЕДЕНИЕ

Основными факторами, характеризующими условия эксплуатации кабелей и проводов на атомных электрических станциях (АЭС), являются потоки излучений высокой энергии и повышенные температуры. Они имеют максимальные значения в пределах активной зоны реактора и в непосредственной близости от нее. За пределами радиационной защиты реактора излучение приближается к фоновому, а температура - к температуре окружающей среды. При нормальных условиях эксплуатации излучение, воздействующее на кабели гермозоны, обусловлено нейтронным и  $\gamma$ -излучением. Мощность дозы излучения сильно изменяется в зависимости от конкретного расположения кабелей в реакторе или вблизи него. Обычно мощность дозы составляет 28 - 280 мкГр/с, т.е. 10 - 100 рад/ч. При средней мощности поглощенной дозы 140 мкГр/с (50 рад/ч) поглощенная доза за весь срок службы 40 лет достигает около 0,2-МГр (20 Мрад). Для нормальных условий эксплуатации характерны температура окружающей среды приблизительно 50°C и относительная влажность около 90%.

В процессе эксплуатации на АЭС не исключены аварии различной степени тяжести, которые могут приводить к повреждению оболочек одного или нескольких твэлов, а также к нарушению герметичности первого контура реактора. При этом возникает утечка теплоносителя, содержащего радиоактивные продукты, в помещения под защитной оболочкой ядерного реактора. Радиационные условия в аварийной ситуации будут определяться главным образом  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучениями, испускаемыми при радиоактивном распаде продуктов деления. Мощность поглощенной дозы при этом будет изменяться во времени. В течение нескольких секунд после аварии мощность поглощенной дозы достигает максимального значения - около 2,8 кГр/с (10 Мрад/ч), а затем наблюдается постепен-

ный спад на протяжении около 1 года. В течение всего этого времени аварийное оборудование должно непрерывно функционировать. Поглощенная доза за этот период может достигнуть значения 5 МГр (500 Мрад). Аварийные условия характеризуются наличием пара под высоким давлением и при высокой температуре и непрерывным разбрызгиванием дезактивирующих растворов [1 - 5].

Кабели, специально предназначенные для работы в помещениях первого контура АЭС, имеют срок службы до 40 лет, радиационную стойкость к поглощенной дозе 0,5 - 1,5 МГр (50 - 150 Мрад) и действию дезактивирующих растворов, соответствуют требованиям по нераспространению горения и стойкости к действию пламени. Так, в системах внутреннего контроля за температурой и энерговыделением в активной зоне реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 применяются измерительные кабели КПЭТИ с изоляцией и оболочками из термостабилизированного радиационно-модифицированного полиэтилена [6].

Цель статьи - анализ радиационной стойкости сетевых неэкранированных кабелей локальных вычислительных сетей с полиэтиленовой изоляцией и поливинилхлоридной защитной оболочкой.

### КРИТЕРИИ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ

Работоспособность кабелей и проводов в условиях воздействия радиации определяется в основном свойствами применяемых в них электроизоляционных материалов (рис. 1) [7]. Под радиационной стойкостью материалов понимают способность сохранять физико-механические и электрические свойства на заданном уровне, который обеспечивает нормальную эксплуатацию кабеля (табл. 1) [8].

Оценку радиационной стойкости кабелей и проводов проводят путем их облучения с использованием гамма-источника при мощности поглощенной дозы до

2,7 Гр/с (45 рад/мин) и температуре 273 - 293 К на воздухе (табл. 2). Для имитации фонового излучения окружающей среды мощность дозы облучения не превышает 0,3 рад/мин.

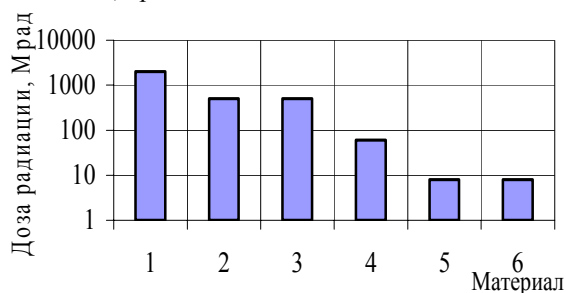


Рис. 1. Предельные значения разрушительных доз радиации для полимерных материалов: 1 - полиимид; 2 - полиэтилен; 3 - поливинилхлорид; 4 - полипропилен; 5 - полиамид; 6 - кремнийорганическая резина

Таблица 1  
Критерии радиационной стойкости полимерных материалов по стандарту МЭК

Контролируемый параметр	Изменение параметра, %, по отношению к исходному
Разрушающее напряжение при разрыве	25 или 50
Удлинение при разрыве:	
жесткие материалы	2
эластомеры	50
гибкие пластики	50
Разрушающее напряжение при изгибе	25 или 50
Ударная вязкость	25 или 50
Остаточная деформация при сжатии	25 или 50
$\rho_v, \rho_s$	10
$E_{пр}$	10 или 50
$\epsilon_r$	$\pm 10$
$tg\delta$	25 или 50

Таблица 2  
Промышленные высокоактивные ( $\geq 3,7 \cdot 10^{10}$  Бк<sup>-1</sup>) источники гамма-излучения

Тип источника	Радионуклид	Активность источника	Габариты (диаметр × высота), мм
ГИК-1 - 3	Кобальт-60	$1,1 \cdot 10^{11}$	6x7
ГИК-2 - 5	Кобальт-60	$3,1 \cdot 10^{11}$	6x7
ГИК-4 - 1	Кобальт-60	$6,4 \cdot 10^{11}$	11x12
ГИК-5 - 3	Кобальт-60	$6,3 \cdot 10^{12}$	11x16,5
ГИК-6 - 3	Кобальт-60	$1,1 \cdot 10^{14}$	26x27
ГИК-8 - 4	Кобальт-60	$1,9 \cdot 10^{14}$	23x22,5
ИГИ-Се-4-1	Селен - 75	$7,8 \cdot 10^{10}$	12,5x12,5
ИГИ-Су-7	Сурьма-124	$1,3 \cdot 10^{11}$	6,7x55
ИГИ-Це-3-1	Цезий-134	$1,5 \cdot 10^{11}$	12x10

<sup>1</sup> – Беккерель – единица активности радионуклида. 1Бк – один распад в секунду

### МЕХАНИЗМЫ СТАРЕНИЯ КАБЕЛЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИИ

Под действием ионизирующего излучения происходит химическое и физическое старение полимерных материалов изоляции и оболочки кабеля. Основными механизмами химического старения является деление макромолекулярных цепей и процесс возникновения сшивок под действием реакции окисления. В процессе деления создаются две новые цепи после разрыва одной. Сшивка (возникновение перемычек) относится к

формированию ковалентных связей двух соседних макромолекул. Это приводит к росту поперечной плотности и формированию пространственной сетки.

Механизмами физического старения являются испарение и миграция пластификатора. Этот механизм старения в основном наблюдается у ПВХ-материалов, в которых обычно большое количество пластификатора (до 70%). Миграция пластификаторов наблюдается до тех пор, пока не наступит равновесия в перераспределении пластификатора в каждом слое.

### ТЕСТОВЫЙ ОБЪЕКТ

Для оценки радиационной стойкости в качестве тестового объекта выбран сетевой неэкранированный кабель внутренней прокладки категории 5е. В таком кабеле защитная оболочка находится в непосредственном контакте с изоляцией 4-х пар проводников. Изоляция токопроводящих жил кабеля выполнена на основе полиэтилена низкой плотности. Для повышения стойкости к окислению под действием кислорода воздуха в современные полиэтиленовые композиции обязательно добавляют антиоксиданты.

Таблица 3

Характеристики радионуклидов		
Радионуклид	Период полураспада	Вид и энергия излучения, МэВ (относительная интенсивность, %)
Кобальт – 60 ( <sup>60</sup> Co )	5,27 года	$E_{\beta} = 0,314 (99)$ $E_{\gamma} = 1,173 (100)$ $E_{\gamma} = 1,332 (100)$
Селен – 75 ( <sup>75</sup> Se )	120 суток	$E_{\beta} = 0,265 (60)$ $E_{\gamma} = 0,136 (57)$
Сурьма – 124 ( <sup>124</sup> Sb)	60,2 суток	$E_{\beta} = 2,31$ $E_{\gamma} = 0,603 (97)$ $E_{\gamma} = 1,691 (50)$
Цезий – 134 ( <sup>134</sup> Ce)	2,06 года	$E_{\beta} = 0,662 (70)$ $E_{\gamma} = 0,796 (99)$ $E_{\gamma} = 0,605 (98)$
Цезий – 137 ( <sup>137</sup> Ce)	30 лет	$E_{\beta} = 1,176 (5)$ $E_{\gamma} = 0,514 (95)$ $E_{\gamma} = 0,662 (85)$

Три образца кабеля длиной по 5 м, взятые из одной бухты, подверглись радиации. Первый образец получил дозу в 10 Мрад, второй - 20 Мрад и третий - 30 Мрад. Перед облучением и после измерялись емкость, тангенс угла диэлектрических потерь по схеме: каждый проводник относительно всех остальных, соединенных вместе, на частотах 0,1; 1; 10 и 1000 кГц. Такая схема измерения дает возможность контролировать  $tg\delta$  изоляции проводника, свободного объема между проводником и всеми остальными, защитной оболочки, т.е. конструкции кабеля в целом [9 - 12].

После воздействия радиации выполнено тепловое старение образцов кабелей при температуре 160°C в течение 4 часов. До и после теплового старения проводилось измерение массы образцов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

После облучения исчез блеск в окраске, как электрической изоляции проводников, так и оболочки. На поверхности оболочки и изоляции появился "отлип" – маслянистые низкомолекулярные продукты разложения изоляции и оболочки. Характерные запахи легколетучих фракций наиболее осязаемы для образцов с дозой радиации 20 и 30 Мрад.

На рис. 2 - 4 приведены зависимости изменений

емкости и  $\text{tg} \delta$  от дозы радиации относительно исходного, необлученного, состояния и коэффициент корреляции тангенса угла потерь между облученными и не облученными кабелями. На рис. 5 представлены  $C - \text{tg} \delta$  диаграммы для четырех частот образцов кабелей до (а), сразу после облучения (б) и со временем (с): через 1 год (для 10 Мрад), 10 месяцев (20 Мрад) и 9 месяцев (30 Мрад) соответственно. Результаты теплового старения, связанные с потерей массы облученных образцов кабелей, приведены на рис. 6.

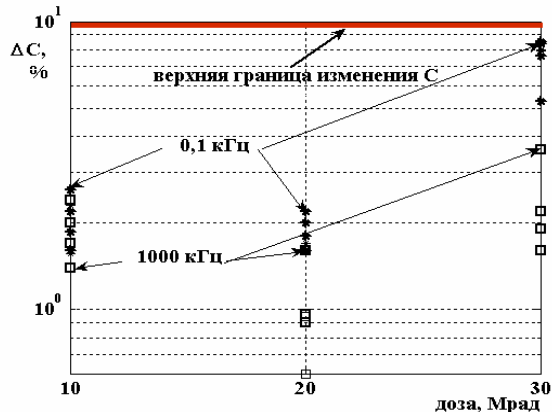


Рис. 2. Изменение емкости сетевого неэкранированного кабеля при облучении

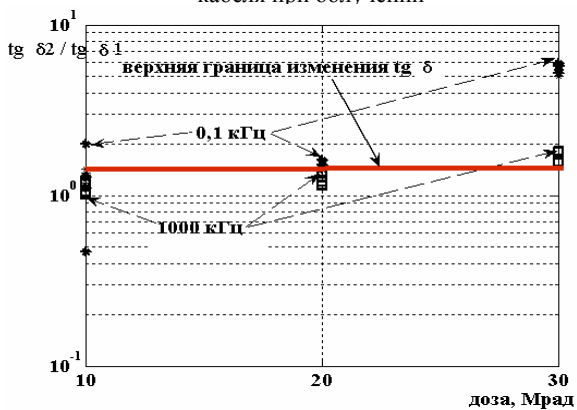


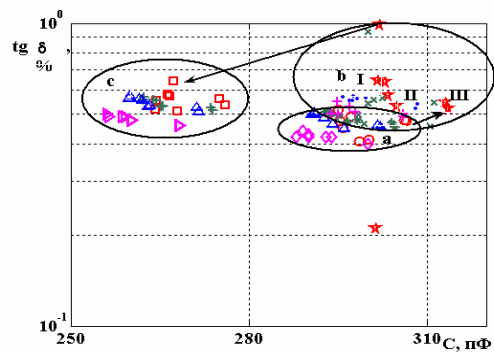
Рис. 3. Изменение  $\text{tg} \delta$  сетевого неэкранированного кабеля при облучении



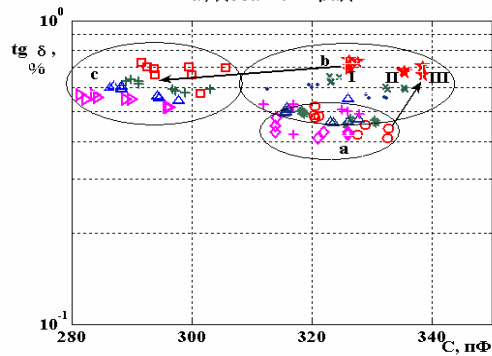
Рис. 4. Корреляция  $\text{tg} \delta$  облученных образцов от дозы радиации

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

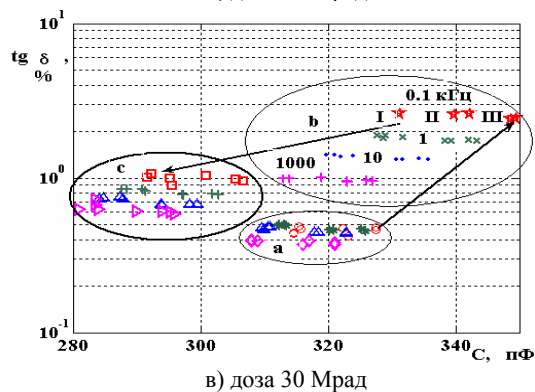
Сравнение результатов изменения емкости, а значит и диэлектрической проницаемости, показывает, что критерий радиационной стойкости (табл. 1) не превышен для всех трех доз радиации (рис. 2). Максимальные изменения емкости на частоте 0,1 кГц составляют 2,6; 2,2 и 8,4 % для 10, 20 и 30 Мрад соответственно.



а) доза 10 Мрад

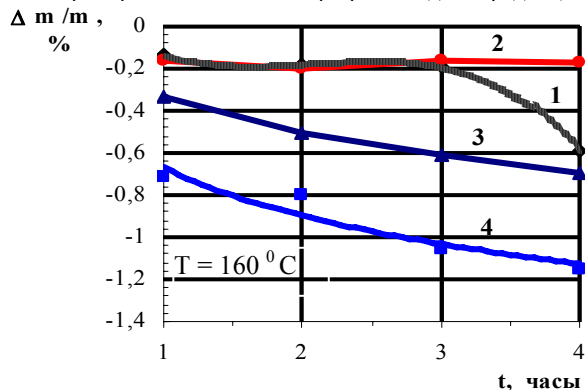


б) доза 20 Мрад



в) доза 30 Мрад

Рис. 5.  $C - \text{tg} \delta$  диаграммы образцов сетевого неэкранированного кабеля при разных дозах радиации

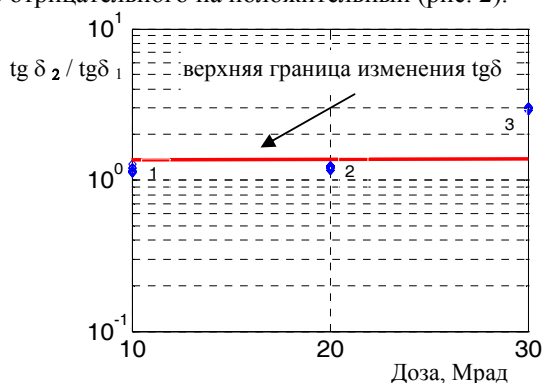


1 - не облученный образец; 2 - облученный дозой 10 Мрад; 3 - облученный дозой 20 Мрад; 4 - облученный дозой 30 Мрад  
Рис. 6. Относительное изменение массы образцов сетевого неэкранированного кабеля при тепловом старении

При дозе облучения до 10 Мрад наблюдается дополнительная сшивка полиэтиленовой изоляции, т.е. образование поперечных межмолекулярных связей. Происходит радиационное упрочнение материала. В результате плотность возрастает. И, как следствие, при тепловом старении уменьшение массы образца,

облученного до 10 Мрад, - наименьшее (рис. 6, кривая 2 и кривые 1, 3 и 4).

При дозе облучения в диапазоне 10 - 20 Мрад преобладают процессы деструкции, как оболочки, так и изоляции с образованием твердых и легколетучих низкомолекулярных фракций. Емкость (плотность, диэлектрическая проницаемость) уменьшается (рис. 2). При дозе облучения больше 20 Мрад начинается процесс интенсивного разложения материала оболочки и изоляции с дополнительной сшивкой ее структуры (рис. 4). И, как результат, отмечается рост емкости. При этом процесс деструкции может быть связан с израсходованием антиоксиданта (рис. 6, кривая 4). Признаком наступления критического состояния старения диэлектрика можно считать, очевидно, момент изменения знака относительного приращения емкости - с отрицательного на положительный (рис. 2).



1 - год после облучения; 2 - 10 месяцев; 3 - 9 месяцев  
Рис. 7. Релаксация tgδ облученного сетевого кабеля со временем

В неэкранированных кабелях внешняя оболочка находится в прямом контакте с изоляцией. При применении защитной оболочки из пластифицированного ПВХ наблюдается диффузия пластификатора из оболочки в изоляцию на основе полиэтилена. Это один из механизмов старения - перенос масс. Он не наблюдается при наличии сплошного металлического экрана между оболочкой и изоляцией. Наблюдаемая деградация не будет одинаковой при сравнении старения изоляции на основе полиэтилена и оболочки из ПВХ материалов отдельно, и образца кабеля в целом. Под действием радиации пластификатор, а также продукты разложения оболочки мигрируют в сердечник кабеля. Легколетучие фракции оказываются между проводниками, в свободном воздушном зазоре. Твердые продукты разложения осаждаются на поверхности проводников витых пар. Измеряемое значение тангенса угла диэлектрических потерь отображает как саму твердую изоляцию и оболочку, так и свойства свободного объема, заполняемого продуктами разложения. На C - tgδ диаграммах проявляются три характерных группы (рис. 5). Группе I соответствуют наименьшие значения емкости и наибольшие значения tgδ. Это результат измерений для проводников, которые не соприкасаются друг с другом в кабеле. Они в наибольшей степени удалены друг от друга. Поэтому воздушный зазор между ними - наибольший. Он заполняется низкомолекулярными продуктами разложения оболочки и изоляции. Вторая группа (II) соответствует проводникам, которые частично соприкасаются друг с другом по длине кабеля. Для третьей группы (III), характерной для соприкасающихся про-

водников (собственно рабочих пар кабеля), значения емкости наибольшие, а tgδ - наименьшие, т.к. меньший объем свободного пространства, в котором осаждаются низкомолекулярные продукты радиационного разложения. Оценка радиационной стойкости и возможность работы сетевых кабелей в условиях радиации по tgδ должна производиться по значениям III - й группы, т.е. для проводников, составляющих пары кабеля. Со временем после облучения дрейф tgδ для этой группы в сторону меньших значений - минимальный. Для не соприкасающихся проводников (группа I) - максимальный (рис. 5, b и c). В процессе облучения дозой до 10 Мрад наблюдается незначительное превышение критерия. После нахождения образца в лаборатории в течение года легколетучие фракции улетучились, и изменение tgδ в пределах нормы (рис. 4 и 7). При дозе 20 Мрад наблюдается превышение верхней границы tgδ на 10% (рис. 3). Причина - как легколетучие фракции (рис. 5б, 2 и 3), так и начавшийся процесс образования крупных сегментов (диполей) в изоляции под действием излучения и кислорода воздуха (рис. 4). Для последних характерна дипольно-релаксационная поляризация, которая сильнее проявляется в низкочастотном диапазоне. Резкое повышение tgδ после дозы 20 Мрад связано, очевидно, с израсходованием антиоксиданта. Момент достижения этого состояния может считаться пределом эксплуатации кабельного изделия. Интенсивная деструкция оболочки и изоляции приводит к превышению критерия стойкости по tgδ на порядок (500%) для частоты 0,1 кГц.

#### ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ СЕТЕВЫХ КАБЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИИ

Емкость и коэффициент затухания сетевых кабелей нормируются (рис. 8 и 9) [13 - 18]. Для них указывается верхний предел. Запас по емкости составляет 8 - 10%. Поэтому при изменении емкости до 4% (рис. 10) для образцов кабелей, облученных дозой до 30 Мрад, не будет превышено верхнее значение.

Коэффициент затухания сетевых кабелей категории 5е нормируется в диапазоне частот 1 - 100 МГц [12 - 13] (рис. 9). Спектр цифровых сигналов в сети Fast Ethernet, передаваемых по витым парам, сосредоточен в этом диапазоне частот. Затухание в высокочастотном рабочем диапазоне определяется потерями как в проводниках пары ( $\alpha_m$ ), так и в диэлектрике ( $\alpha_d$ ):

$$\alpha = \alpha_m + \alpha_d = 8,69 \cdot \left( \frac{R}{2} \cdot \sqrt{C/L} + \frac{\omega \cdot C \cdot \text{tg} \delta}{2} \cdot \sqrt{L/C} \right)$$

Соотношение между составляющими меняется в зависимости от частоты [15]. На частоте 1 МГц коэффициент затухания в диэлектрике  $\alpha_d$  не превышает 3% от потерь в проводниках. При изменении емкости потери растут как в проводниках, так и в изоляции. Рост общих потерь при изменении только емкости составляет 1,54% для дозы 10 Мрад, 1,3% для 20 Мрад и 2% для 30 Мрад. За счет роста tgδ под действием радиации потери в диэлектрике увеличатся на 14 - 31%, 10 - 21%, 141 - 162% при дозах 10 Мрад, 20 Мрад и 30 Мрад соответственно. Для рабочих пар необходимо ориентироваться на нижнюю границу изменения tgδ (рис. 10). Таким образом, для всех трех доз радиации общие потери не превысят верхние нормируемые значения  $\alpha$  на частоте 1 МГц.



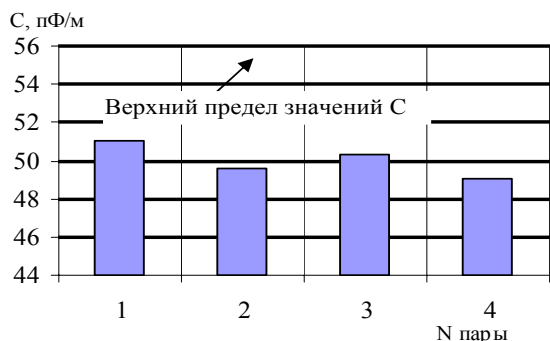


Рис. 8. Типичные значения емкостей витых пар сетевого кабеля категории 5e

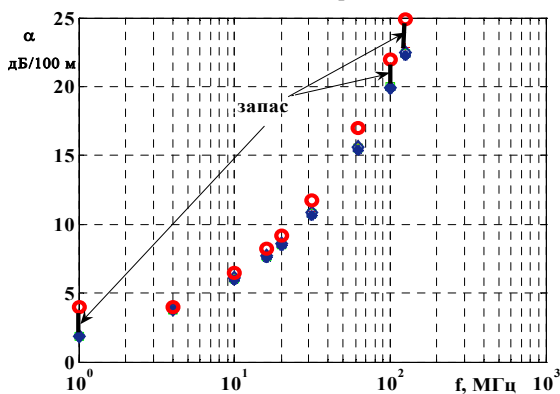


Рис. 9. Предельные значения коэффициента затухания сетевого неэкранированного кабеля категории 5e

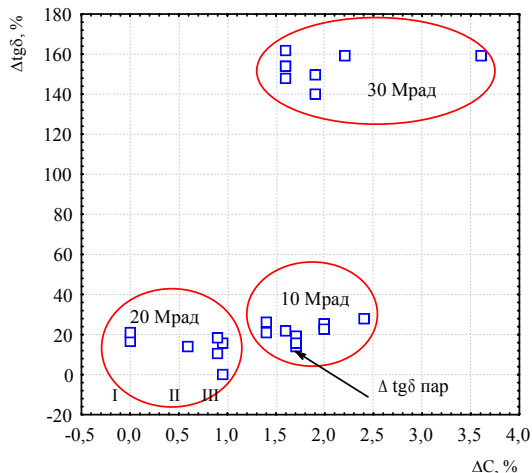


Рис. 10.  $\Delta C - \Delta \text{tg} \delta$  диаграмма при разных дозах облучения

На частоте 100 МГц потери в диэлектрике возрастают и составляют до 30% от потерь в проводниках. При тех же изменениях емкости и  $\text{tg} \delta$ , что и для частоты 1 МГц ( $\Delta C = 1,54\%$ ,  $\Delta \text{tg} \delta = 14\%$ ), в диапазоне 10 - 20 Мрад, общие потери возрастают на 7%. При изменении  $\text{tg} \delta$  на 25% - на 10%. Приращение потерь составляет 1,5 - 3 дБ. Как правило, сетевые кабели имеют запас по коэффициенту затухания в (1,5 - 2 дБ) / 100м (рис. 9) [16 - 17]. Но этого запаса не достаточно для качественной передачи сигнала на расстояние 100 метров.

Для дозы свыше 20 Мрад потери превышают нормируемые граничные значения на 35 - 40%, т.е. на 8 - 9 дБ.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сетевые неэкранированные кабели способны обеспечить передачу цифровых сигналов со скоростью передачи 100 Мбит/с на расстояние 100 метров

при дозе до 10 Мрад. При более высоких поглощенных дозах дальность передачи информации сокращается. При дозе до 20 Мрад передача возможна на расстояние не более 85 метров. При дозе выше 20 Мрад - на расстояние не более 60 метров.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] K.Anandakumaran, W.Seidl, P.V.Castaldo. Condition Assessment of Cable Insulation Systems in Operating Nuclear Power Plants.// IEEE Trans. DEI, Vol.6, pp. 376-384, 1999.
- [2] IEC 216 Standard, Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials. Part 1: General guidelines for aging procedures and evaluation of test results; Part 2: Choice criteria; Part [3] Instruction for calculating thermal endurance characteristics; Part 4: Aging ovens; Part 5: Guidelines for application of thermal endurance characteristics. Fourth issue. 1990 - 1994.
- [4] Kirschvink Manfred, Beyer Gunter, Coenen Simon. Mechanical, electrical and fire propagation oh halogen free DBE (LOCA) resistant cables for nuclear power plants.
- [5] Дикерман Д.Н., Мещанов Г.И., Поляков А.А., Финкель Э.Э. Кабели и провода для ядерных энергетических установок. - М.:Энергоатомиздат, 1983. - 36 с.
- [6] Боев М.А. Техническая диагностика низковольтной полимерной изоляции.// Труды Международной научно-технической конференции "Изоляция - 99".- Санкт-Петербург, 1999. - С. 19-20.
- [7] Nuclear and space radiation effects on materials //NASA SP - 8053, June, 1970.
- [8] Публикация 544 МЭК. Ч.1 - 4. Руководство по определению влияния ионизирующего излучения на электроизоляционные материалы, 1977 - 1982.
- [9] Набока Б.Г., Беспрозванных А.В., Гладченко В.Я. Призрак старения диэлектрика - близость характеристик изоляции соседних жил.// Труды Третьей Международной конференции "Электрическая изоляция - 2002".- Санкт-Петербург, 2002. - С. 240-242.
- [10] Набока Б.Г., Беспрозванных А.В., Штангей А.С., Чертков Г.Н., Крикунов В.В. Наблюдение процессов старения изоляции многожильных кабелей по корреляционной связи электрических характеристик ее соседних участков// Тез. докл. Междун. конф. "Конструкционная прочность материалов и ресурс оборудования АЭС". (г.Киев, 2003 г.) - 4 с.
- [11] Беспрозванных А.В., Морозова Е.В., Соколенко А.Н. Влияние ионизирующего излучения на емкость и тангенс угла диэлектрических потерь сетевых кабелей // Вестник НТУ "ХПИ". - Харьков: НТУ "ХПИ", 2003, №9, Т.3. - С. 3-8.
- [12] Беспрозванных А.В., Морозова Е.В., Соколенко А.Н. Дрейф диэлектрических потерь радиационно-старенных сетевых кабелей //Вестник НТУ "ХПИ" - Харьков: НТУ "ХПИ", 2004, №22, Т.3. - С. 3-6.
- [13] International Standard ISO/IEC 11801 Information Technology - Generic Cabling for Customer Premises. - 1995. - 104 p.
- [14] TSB -36. Technical Systems Bulletin/ Additional Cable Specifications for Unshielded Twisted Pair Cables.-5 p.
- [15] Беспрозванных А.В., Игнатенко А.Г. Оптимизация конструкции сетевых кабелей по коэффициенту затухания в зоне допусков геометрических размеров параметров передачи //Электротехника и электромеханика. - 2004.-№2.-С. 8-10.
- [16] Беспрозванных А.В., Игнатенко А.Г. Влияние скрутки сердечника на параметры передачи сетевых кабелей.// Вестник НТУ "ХПИ". - Харьков, N7. - 2004. - С. 82-87.
- [17] ОАО "Одескабель" ТУ У 31.3 - 05758730 - 020 -2002 (350).
- [18] ОАО "Одескабель" ТУ У 31.3 - 05758730 - 020 -2001 - новый.

Поступила 2.12.05