

Ю.А.Скорняков, А.Н.Степанов,
А.А.Лапенас

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ
НЕЙТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ



НИИЭОА

Государственный комитет по использованию
атомной энергии СССР

Научно-исследовательский институт
электрофизической аппаратуры
имени Д.В.Фремова

Ю.А.Скорняков, А.Н.Степанов, А.А.Лапенас

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НЕЙТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

А Н Н О Т А Ц И Я

Скорняков Ю.А., Степанов А.Н., Лапенас А.А. Исследование электрофизических свойств электроизоляционных материалов при нейтронном облучении. Препринт Б-0369. Л., НИИЭФА, 1978, 9 стр., с илл., цена 8 коп.

В работе исследован ряд электроизоляционных материалов на радиационную стойкость к нейтронному излучению до флюенса 10^{18} нейтр/см². Приведены результаты изменения электрофизических свойств материалов в процессе облучения. Даны рекомендации по применению исследованных материалов.

A B S T R A C T

Skornyakov Yu.A., Stepanov A.N., Lapenas A.A. Electrophysical Property Investigation of Insulating Materials at Neutron Irradiation. Preprint B-0369. L., NUUEFA, 1978, 9 p., with ill., price 8 cop.

Some electrical insulating materials for neutron radiation resistance up to 10^{18} neutron/cm² have been investigated. The results of the electrophysical material property changes at irradiation are given. Recommendations for practical application of the investigated materials are presented.

Для правильного выбора электроизоляционного материала, пригодного для эксплуатации в условиях радиационного воздействия, желательно иметь максимально точную информацию относительно интенсивности и спектрального состава излучений, эксплуатационной температуры устройства, температуры и характера окружающей среды, заданного срока службы устройства.

Исходя из такой информации, а также на основе имеющихся данных о поведении электроизоляционных материалов в зоне действия ионизирующих излучений ориентировочно можно выбрать подходящий материал. Однако это не исключает необходимости проведения эксперимента в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным.

Анализ накопленных к настоящему времени сведений о радиационной стойкости электроизоляционных материалов показывает, что несмотря на наличие довольно широкого ассортимента разнообразных синтетических полимерных электроизоляционных материалов, выбор диэлектриков, пригодных для эксплуатации в полях ионизирующих излучений высокой энергии, является весьма проблематичным. Поэтому изучение фактического материала, касающегося как общих закономерностей радиационно-химических изменений в материалах, так и данных по отдельным конкретным материалам, исследуемым на радиационную стойкость, представляется весьма важным.

Понятие "радиационная стойкость" для материалов употребляется обычно в трех аспектах, которые условно можно назвать техническим, химическим и физическим I.

В техническом аспекте радиационную стойкость понимают как степень сохранения работоспособности материала по его техническому назначению.

В химическом аспекте радиационная стойкость полимеров определяется как степень сохранения их исходного химического состава и исходной химической структуры при облучении.

В физическом аспекте радиационная стойкость материала — это степень сохранения каждого из его свойств при облучении, что характеризуется функциональной зависимостью показателя, определяющего данное свойство, от величины интегрального потока ионизирующего излучения при различных условиях облучения.

Радиационные изменения свойств полимера могут быть необратимыми и обратимыми, т.е. исчезать после прекращения облучения или сохраняться.

Необратимые радиационные эффекты связаны с изменениями состава и структуры полимеров, обусловленными такими радиационно-химическими превращениями, как сшивание, деструкция, газовыделение, радиационное окисление, изменение ненасыщенности, радиационная аморфизация (реже кристаллизация), разориентация и др. Эти эффекты определяются интегральным потоком и, как правило, не зависят от плотности потока (интенсивности излучения), если только скорость превращения не лимитируется каким-либо не зависящим от излучения процессом (например, диффузия кислорода при радиационном облучении).

Обратимые радиационные эффекты в полимерах обычно обусловлены образованием и накоплением до некоторой стационарной концентрации более или менее короткоживущих продуктов — свободных и связанных зарядов (электронов, ионов), свободных радикалов, нестойких соединений, газов, удаляемых из полимера за счет диффузии к поверхности, и т.д. Они могут быть обусловлены также возбужденным состоянием молекул.

Важнейшими показателями электроизоляционных материалов является тангенс угла диэлектрических потерь, электрическая прочность, удельное объемное сопротивление, диэлектрическая проницаемость. При воздействии ионизирующего излучения электропроводность полимерных диэлектрических материалов имеет электронный характер 2.

Влияние ионизирующего излучения на диэлектрические потери и проницаемость полимеров связано с ионизацией материала, радиационно-химическими процессами, протекающими в полимере во время облучения. На электрическую прочность полимерных диэлектриков влияет строение и состав. Технические электроизоляционные полимерные материалы, как правило, являются композиционными материалами, которые содержат наполнители и добавки, улучшающие их свойства.

При введении в полимер твердых наполнителей образуется неоднородный диэлектрический материал, в котором величина напряженности электрического поля в различных точках может существенно отличаться от средней напряженности.

Наличие воздушных включений, а также введение пластификаторов, как правило, снижает электрическую прочность полимерного материала.

Цель данной работы — определение возможности применения электроизоляционных материалов в электрических обмотках, работающих в условиях нейтронного излучения термоядерных установок.

Исследовались на радиационную стойкость образцы электроизоляционных материалов и конструкций изоляции на основе стеклолакотканей, микастеклолакотканей, пленочных материалов; цементирующие, клеящие и выравнивающие составы.

Все исследовательские работы по облучению образцов конструкций изоляции и изоляционных материалов проводились на атомном реакторе на тепловых нейтронах ИРТ-2000 Института физики АН Латв. ССР.

Вид излучения — комбинированное γ -нейтронное излучение.

Облучение производилось в канале ВЭК-3, оборудованном кадмиевой защитой, и каналах ВЭК-5 и ВЭК-11 без кадмиевой защиты.

Образцы, облучавшиеся в каналах, не оборудованных кадмиевой защитой, разрушались от нагрева. Дальнейшее облучение образцов в этих каналах без применения принудительного охлаждения оказалось нецелесообразным.

Конструктивные особенности канала, оборудованного кадмиевой защитой, позволяли применять цилиндрические контейнеры длиной 120 мм. В каждый контейнер помещали три образца в виде диска и один образец коробчатого профиля из исследуемого материала.

Для определения флюенса нейтронов над каждым образцом в виде диска помещали детектор (монитор) из никеля.

Изменение плотности потока нейтронов с энергией больше 0,1 МэВ по высоте активной зоны канала было определено согласно методике, изложенной в работе 4.

Характер распределения плотности потока нейтронов показан на рис.1.

Такой характер распределения плотности потока позволял получать различные величины флюенса нейтронов при одной загрузке канала.

На основании предварительных исследований для изготовления образцов конструкций изоляции и дальнейших испытаний наиболее перспективными оказались электроизоляционные стеклолакоткани марок: ЛСПАКЛ-80, ЛСМИ 228Л-80 и ЛСЭШ. Образцы для исследований изготавливались путем наложения в полупроекты двух или трех слоев липкой электроизоляционной ленты на медные стержни прямоугольного сечения с последующей термообработкой и вырубкой из них готовой электроизоляционной конструкции.

Ниже приводится краткая техническая характеристика липких электроизоляционных лент, примененных для изготовления исследуемых конструкций изоляции:

1. Лента липкая, электроизоляционная, марки ЛСМИ 228Л-80, ТУ ОФР.503.036.

Лента представляет собой нарезанную на полосы вдоль основы стеклоленту марки "Э", пропитанную лаком из алдуктов льняного и дегидратированного касторового масел и малеинового ангидрида, обработанных ароматическим диамином. На обе стороны ленты нанесен

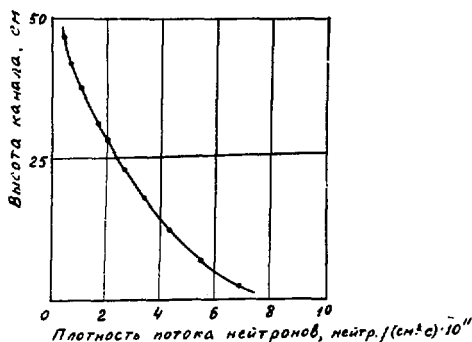


Рис.1. Распределение плотности потока нейтронов с энергией больше 0,1 МэВ в зависимости от высоты в экспериментальном канале ВЭК-3

слой клеящего электроизоляционного компаунда марки К-80, ТУ ОФР.504.028.

2. Лента липкая, электроизоляционная, марки ЛСПАКЛ-80, ТУ ОФР.503.024.

Лента представляет собой нарезанную вдоль основы полиимидную стеклоткань ЛСПАК-1, на которую с обеих сторон нанесен слой клеящего электроизоляционного компаунда К-80.

3. Лента липкая, электроизоляционная, на поликасиновом компаунде, ЛСЭШ, ТУ 16-503.135-74.

Лента представляет собой нарезанную на полосы вдоль основы стеклоткань марки "С", пропитанную лаком из органического синтетического каучука, на которую с обеих сторон нанесен слой клеящего электроизоляционного поликасинового компаунда марки К-19, ТУ ОФР.504.010.

Облучаемые образцы представляли собой плоские диски диаметром 39 мм, вырезанные из конструкций изоляции, изготовленных на основе трех вышеуказанных марок изоляционных липких лент.

Толщина дисков составляла около 0,7 мм. Для весовых измерений были изготовлены образцы коробчатого профиля с внутренним сечением 20x20 мм, длиной 30 мм, толщиной стенки 6 мм и весом около 14 г.

Был также изготовлен специальный образец из медного стержня с размерами 13x16x115 мм и изоляцией толщиной 6 мм. Цель облучения такого образца заключалась в том, чтобы выяснить возможность облучения моделей конструкций обмоток с медными стержнями. Образец с медным стержнем нагревался более чем на 200°C, в результате чего происходило разрушение изоляции. Наведенная активность такого образца оказалась очень высокой. Поэтому в дальнейших работах применялись образцы только в виде дисков и коробчатого профиля.

Измерение напряжения электрического пробоя образцов проводилось переменным током частотой 50 Гц на установке АИИ-70 с электродами диаметром 6 мм с погружением образцов в трансформаторное масло. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь производили при помощи выносного датчика с притиранием алюминиевой фольги к обеим сторонам дисков. Замеры проводились с помощью измерителя емкости ВВ-3. Для определения температурных режимов при облучении использовались термомпары марки ХК, которые помещали в изоляционный материал образцов коробчатого профиля.

Температуру образцов определяли при помощи потенциометра ПП-63 и таблиц, приведенных в работе 5, с учетом температуры окружающей среды.

Для сравнения в экспериментальный канал была помещена также свободная термомпара.

Результаты измерений показаны на рис.2.

Из данных рис.2 (см.кривые 3,4,5) следует, что наименьший нагрев образцов изоляции происходит в экспериментальном канале, оборудованном кадмиевым фильтром тепловых нейтронов, ВК-3.

Активационный анализ материала ЛСПАКЛ-80 показал наличие примеси элементов, дающих при облучения долгоживущие радиоактивные изотопы Sc^{46} , Ca^{51} , Fe^{59} , Co^{60} , Zn^{64} .

После облучения образцы (для снижения наведенной активности до допустимых пределов) подвергались двухмесячной выдержке.

Подсчет величины флюенса нейтронов по мониторам показал следующие значения:

Материал	Флюенс 10^{18} нейтр/см ²
ЛСМИ 22ВЛ-80	(0,26 ± 0,05); (0,51 ± 0,10); (0,97 ± 0,19)
ЛСЭШ	(0,22 ± 0,04); (0,46 ± 0,09); (0,87 ± 0,07)
ЛСПАКЛ-80	(0,18 ± 0,4); (0,39 ± 0,08); (0,68 ± 0,14)

Определены были также весовые изменения образцов после облучения (рис.3).

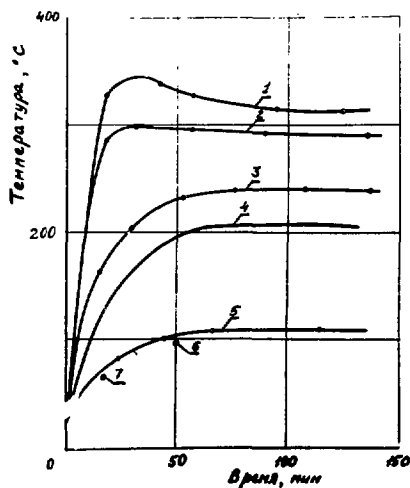


Рис.2. Изменение температуры образцов при облучении:

1,2,5 - образец коробчатого профиля; 3 - медь; 4 - изоляция на образце с медью; 6,7 - свободная термопара; 3,4,5 - ВЭК-3; 1,6 - ВЭК-5; 2,7 - ВЭК-II

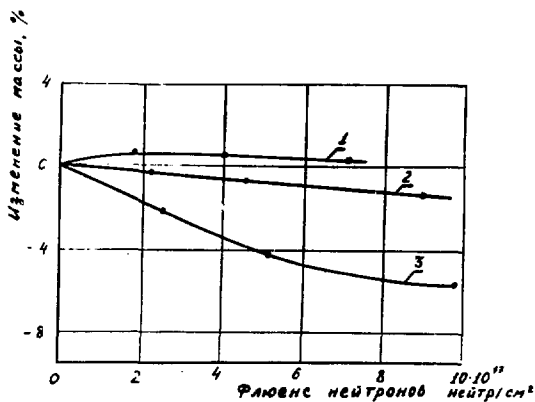


Рис.3. Изменение массы образцов в процентах от начального веса в зависимости от величины флюенса нейтронов (0,1 МэВ):

1 - ЛСПАКЛ-80; 2 - ЛСЭИЛ; 3 - ЛСМИ 228Л-80

Характер изменения сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь облученных образцов характеризуется изменениями в сторону ухудшения показателей уже в начале облучения (рис.4,5).

Изменения электрического сопротивления (рис.4) и тангенса угла диэлектрических потерь (рис.5) свидетельствуют о необратимых изменениях в составе и структуре полимерного материала. Особенно изменения происходят при величине интегральной дозы облучения до $2 \cdot 10^{17}$ нейтр/см².

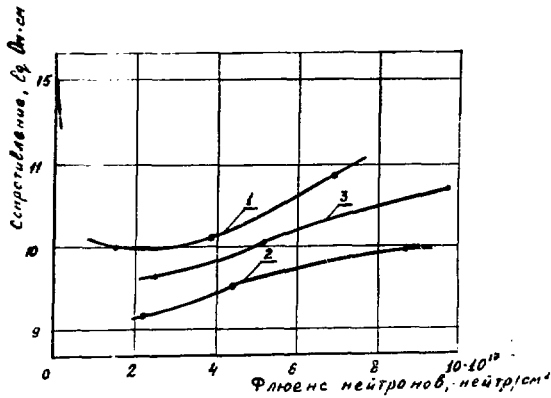


Рис.4. Изменение сопротивления образцов в зависимости от величины флюенса нейтронов:

1 - ЛСПАКЛ-80; 2 - ЛСЭПШ; 3 - ЛСМИ 221 1-80

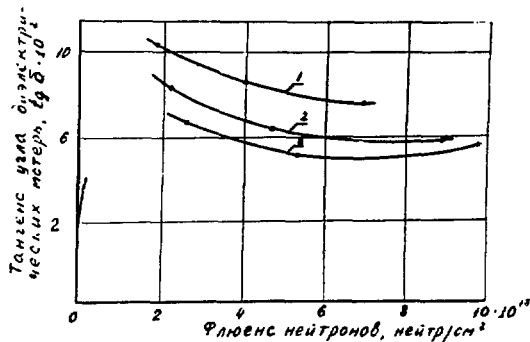


Рис.5. Изменение тангенса угла диэлектрических потерь образцов в зависимости от величины флюенса нейтронов:

1 - ЛСПАКЛ-80; 2 - ЛСЭПШ; 3 - ЛСМИ 228Л-80

Удельное объемное сопротивление изоляции снижается на пять-шесть порядков, тангенс угла диэлектрических потерь возрастает в пять-восемь раз. При дальнейшем увеличении дозы облучения происходит улучшение свойств, что можно объяснить рекомбинацией или структурированием полимерного материала.

Для электрической изоляции одним из важнейших критериев является ее электрическая прочность.

Анализируя характер изменения электрической прочности образцов (рис.6), можно отметить, что для образцов из материала ЛСМИ 228Л-80 наблюдается значительное увеличение электрической прочности.

Остальные материалы снижают электрическую прочность по сравнению с исходными показателями.

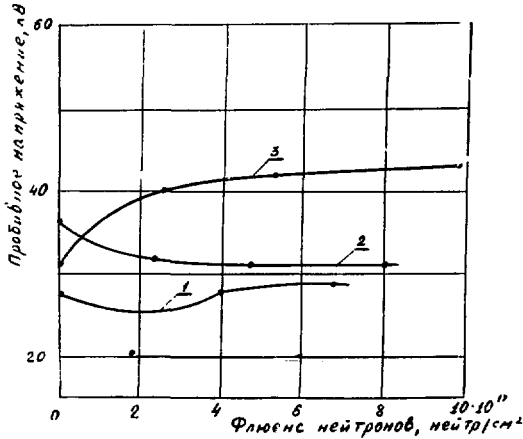


Рис.6. Изменение электрической прочности образцов в зависимости от величины флюенса нейтронов: 1 - ЛСПАКЛ-80; 2 - ЛСЭПД; 3 - ЛСМИ 228Л-80

Можно считать, что радиационное воздействие на материал ЛСМИ 228Л-80, вызывая деградацию полимера, способствует увеличению электрической прочности. Основываясь на изменениях электрофизических свойств испытанных материалов, можно рекомендовать стеклолакоткани ЛСПАКЛ-80 и ЛСМИ 228Л-80 для применения в условиях нейтронного облучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследован ряд электроизоляционных материалов на радиационную стойкость к нейтронному излучению до флюенса 10^{18} нейтр/см², в результате чего установлено, что радиационная стойкость электроизоляционных материалов по электрофизическим свойствам снижается в ряд: стеклолакотканей ЛСМИ 228Л-80, ЛСПАКЛ-80, ЛСЭПД.

2. Установлена необходимость принудительного охлаждения при облучении крупногабаритных образцов в условиях нейтронного излучения на реакторе ИРТ-2000.

3. Определено наличие примесей, вызывающих долгосрочную наведенную активность электроизоляционных материалов (Fe^{59} , Co^{60}).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Радиационная химия полимеров. Отв.ред.акад.В.А.Каргин. М., "Наука", 1973.
2. Электрические свойства полимеров. Под ред.Б.И.Сажана. Л., "Химия", 1970.
3. Радиационная стойкость материалов. Справочник. Под ред.В.Б.Дубровского. М., "Атомиздат", 1973.
4. Лапенас А.А. Измерение спектров нейтронов активационным методом. Рига, "Зинатне", 1975.
5. Лисяков Б.В. и др. Температурные измерения в ядерных реакторах. М., "Атомиздат", 1975.



Ю.А.Скоряков, А.Н.Стеланов, А.А.Лапенас
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НЕЙТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Заказ № 39/543. Рукопись поступила на издание 26/IV 1977 г.
Формат бумаги 60x90¹/₈. Уч.-изд.л.0,8. Отпечатано 120 экз.
Ротапринт НИИЭФА. Цена 8 коп. Индекс 3624. Т-04682 17/IV 1978 г.

Ответственная за выпуск В.Л.Гусева

Индекс 3624