



НИИП
РОСАТОМ

НАУЧНЫЙ
ГОДОВОЙ
ОТЧЕТ
АО «НИИП»
ЗА 2024 ГОД

ЛЫТКАРИНО 2025

Акционерное общество
«Научно-исследовательский
институт приборов»

НАУЧНЫЙ ГОДОВОЙ ОТЧЕТ АО «НИИП» ЗА 2024 ГОД

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборов»

Лыткарино 2025

Контактная информация:

промзона Тураево, строение 8, г. Лыткарино, Московская область, 140080

Тел. 8-495-663-90-95

Факс 8-495-663-90-74

E-mail: niip@rosatom.ru

СОДЕРЖАНИЕ

I. ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА.....	4
II. О ПРЕДПРИЯТИИ.....	5
III. ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ	7
Общая характеристика деятельности.....	7
Экспериментальная база направления	9
Метрологическое обеспечение испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость	26
Научные проекты по тематике испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость	31
<i>Проект ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов».....</i>	<i>31</i>
<i>НИОКР «Разработка устройства запуска разрядников батареи магнитного поля и генератора ГИН-100 на установке ЛИУ-10».....</i>	<i>35</i>
<i>НИОКР «Экспериментальные исследования и разработка методики по использованию двухкамерного газового разрядника на ускорителе УИН-10».....</i>	<i>36</i>
<i>НИОКР «Исследование влияния дозовых нагрузок на электрическую прочность МОП-структур».....</i>	<i>37</i>
<i>НИОКР «Разработка проекта методики регистрации порогового напряжения МОП-транзистора после воздействия импульсного ионизирующего излучения в диапазоне времени от 10^{-4} до 10^2 секунд».....</i>	<i>38</i>
IV. ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КАБЕЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ	39
Общая характеристика деятельности.....	39
Экспериментальная база направления	43
Научные проекты по тематике технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии	53
<i>Проект РТТН «Проведение испытаний материалов образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-</i>	<i>2</i>

<i>измерительных приборов и автоматики АЭС, и исследование механизмов их старения. Разработка методических рекомендаций по управлению старением кабельной продукции, ЭТО и КИПиА»ТН»</i>	<i>53</i>
<i>Проект ЕОТП МТ-508 «Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей»</i>	<i>63</i>
V. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	68
VI. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. НОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	70
<i>Проект ЕОТП МТ-751 «Разработка технологии проектирования и изготовления датчиков угловых скоростей на основе волнового твердотельного гироскопа с металлическим резонатором»</i>	<i>70</i>
<i>НИОКР «Создание экспериментального образца портативного анализатора спектра (ПАС)»</i>	<i>71</i>
<i>НИОКР «Разработка системы обработки информации координатных детекторов»</i>	<i>73</i>
VII. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	75
VIII. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ.....	78
ПРИЛОЖЕНИЕ	
Список публикаций сотрудников АО «НИИП» за 2024 год.....	80

I. ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

В 2024 году научная деятельность предприятия формировалась при поддержке программ РТТН и ЕОТП, а также группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и заделных работ в научных организациях АО «Наука и инновации». Все цели, заявленные в рамках выполненных проектов, были достигнуты, получены очень интересные результаты.

Важными вехами в развитии предприятия стало успешное завершение проекта РТТН (2023 – 2024) «Проведение испытаний материалов образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС, и исследование механизмов их старения. Разработка методических рекомендаций по управлению старением кабельной продукции, ЭТО и КИПиА», проекта ЕОТП МТ-508 «Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей» (2022-2024) и проекта ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов» (2023-2024).

В целом работы предприятия по программам РТТН и ЕОТП позволили расширить традиционные направления деятельности предприятия и развить формирующиеся новые направления.

В настоящем отчете представлены краткая характеристика научной и инновационной деятельности предприятия за 2024 год, описания выполненных предприятием в 2024 году научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также основные научные результаты, полученные в рамках их выполнения.

*Генеральный директор АО «НИИП»,
Артём Петрович Лапшин*

II. О ПРЕДПРИЯТИИ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборов» (АО «НИИП») относится к Научному дивизиону Госкорпорации Росатом и осуществляет деятельность по следующим основным направлениям:

- проведение испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ) и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на радиационную стойкость;
- техническое диагностирование и управление ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии;
- производство полупроводниковых материалов;
- приборостроение специального назначения.

АО «НИИП» является одним из лидеров в РФ в области радиационных испытаний ЭКБ и РЭА. Институт имеет уникальные моделирующие установки и испытательные стенды, обеспечивающие полный цикл испытаний ЭКБ и РЭА в соответствии с требованиями комплексов государственных стандартов.

АО «НИИП» имеет развитую метрологическую службу, ориентированную на измерение полей ионизирующих излучений радиационных установок, включая поддержание вторичных эталонов полей. Специальный отдел метрологии ионизирующих излучений непосредственно участвует в проведении испытаний ЭКБ и РЭА в части измерения уровней воздействия при проведении испытаний каждого изделия.

Предприятие имеет необходимые лицензии на проведение испытаний объектов военной техники и космических аппаратов, разработку нормативной документации.

АО «НИИП» является одним из лидеров в РФ в области технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии. Наличие уникальной базы диагностического оборудования позволяет проводить широкий спектр услуг по диагностике технического состояния и управлению сроком службы электрооборудования и кабелей на всех этапах жизненного цикла изделий. В АО «НИИП» накоплен опыт при выполнении работ на всех атомных станциях АО «Концерн Росэнергоатом» и на зарубежных АЭС российских проектов. АО «НИИП» имеет лицензию Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на эксплуатацию блоков атомных станций в части выполнения работ и оказания услуг эксплуатирующей организации.

В АО «НИИП» создано единственное в РФ производство высокочистого монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки (БЗП). Монокристаллический кремний высокой чистоты, выращенный данным методом, широко применяется в производстве силовых полупроводниковых приборов и

детекторов излучений. Цех по производству кремния укомплектован ростовыми установками TFZ-1435, FZ-1502 и FZ-30, которые позволяют производить от 2,5 до 4,5 тонны кремния в год в зависимости от диаметра выращиваемых монокристаллов. АО «НИИП» производит различные марки кремния, в том числе высокоомные.

Начиная с 1998 года АО «НИИП» проводит ежегодную Всероссийскую научно-техническую конференцию «Радиационная стойкость электронных систем». На конференции представляются доклады по наиболее актуальным направлениям физики радиационного воздействия на ЭКБ и РЭА, вопросам создания моделирующих установок, а также вопросам организационно-технического и методического обеспечения радиационных испытаний. В работе конференции принимают участие специалисты из предприятий Госкорпораций Росатом и Роскосмос, Минобороны России, Минпромторга России, Российской академии наук, высших учебных заведений.

Начиная с 2006 года АО «НИИП» проводит школу-семинар «Методы оценки и обеспечения радиационной стойкости изделий электронной техники». Основателем и идеологом школы являлся Виктор Николаевич Улимов, доктор технических наук, заместитель директора по науке АО «НИИП» с 1994 по 2019 годы. Мероприятие проводится как очно, так и в онлайн-формате.

АО «НИИП» является учредителем (издателем) научно-технического сборника «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру», ISSN 1997-2830. Сборник издается с 1990 года. Главным редактором сборника является заместитель генерального директора по науке и инновациям АО «НИИП», доктор технических наук, Константин Иванович Таперо. Сборник распространяется через подписной каталог агентства «Группа компаний «Урал-Пресс». Информация об опубликованных в данном сборнике статьях предоставляется в систему Российского индекса научного цитирования – РИНЦ, сборник включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК.

III. ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В рамках направления испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ) и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на радиационную стойкость АО «НИИП» осуществляет свою деятельность по следующим основным направлениям:

- проведение испытаний изделий электротехники, электронной техники и радиоэлектронной аппаратуры на прочность, устойчивость, стойкость и надежность в условиях воздействия внешних радиационных, механических, климатических и электрических факторов;
- проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области радиационной стойкости изделий электронной техники и радиоэлектронной аппаратуры;
- разработка методов радиационных испытаний и исследований ЭКБ и РЭА, разработка физико-математических моделей для прогнозирования радиационных изменений параметров ЭКБ и РЭА;
- разработка, создание и аттестация методик измерения характеристик полей ионизирующих излучений ядерно-энергетических, изотопных и электрофизических установок;
- разработка и изготовление экспериментальных моделирующих установок.

В рамках направления испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость в 2024 году АО «НИИП» завершило выполнение 2-х летнего проекта ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов». Все работы проекту были выполнены в полном объеме и с надлежащим качеством.

В рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Наука и инновации» в 2024 году были выполнены четыре НИОКР:

- «Разработка устройства запуска разрядников батареи магнитного поля и генератора ГИН-100 на установке ЛИУ-10»;
- «Экспериментальные исследования и разработка методики по использованию двухкамерного газового разрядника на ускорителе УИН-10»;
- «Исследование влияния дозовых нагрузок на электрическую прочность МОП-структур»;
- «Разработка проекта методики регистрации порогового напряжения МОП-транзистора после воздействия импульсного ионизирующего излучения в диапазоне времени от 10^{-4} до 10^2 секунд»;

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА НАПРАВЛЕНИЯ

Радиационные установки



Установка ГУ-200

Тип установки – изотопная гамма-установка непрерывного действия с кобальтовым источником. На установке используются стандартные источники излучения Co^{60} в двойной цилиндрической оболочке из нержавеющей стали диаметром 11 мм и длиной 81,5 мм (максимально возможное количество источников 64 шт.). На 01.01.2022 установлено 32 источника, суммарная активность которых составляет ~32 кКи.

Средняя энергия гамма-квантов – $E_{\text{ср}} = 1,25 \text{ МэВ}$.

Экспозиционная мощность дозы – 3-500 Р/с.

Объем облучаемой камеры (Д×Ш×В) – 4×4×4 м.

Эксплуатация установки осуществляется на основании выданной Ростехнадзором лицензии № ЦО-03-210-12124 до 18.01.2026. ГУ-200 аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.415-98 и ГОСТ РВ 20.57.308-98.

В 2024 году общая продолжительность испытаний на установке ГУ-200 составила 6677 часов.



Стенд «Гамма-Н»

Тип установки – изотопная гамма-установка с кобальтовым источником на основе гамма-дефектоскопа «Гаммарид-40/60».

Источник гамма-излучения – закрытый с радионуклидом Co^{60} типа ГИК-2-6. активностью $2,18 \times 10^{12}$ Бк.

Средняя энергия гамма-квантов – $E_{\text{ср}} = 1,25$ МэВ.

Испытательный объем (Д×Ш×В) – $8 \times 10 \times 6$ м.

Экспозиционная мощность дозы – $0,001 \div 0,1$ Р/с.

Эксплуатация «Гамма-Н» осуществляется на основании выданной Ростехнадзором лицензии № ЦО-03-210-12124 до 18.01.2026. Стенд аттестован на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.415-98 и ГОСТ РВ 20.57.308-98.

В 2024 году общая продолжительность испытаний на стенде «Гамма-Н» составила 98 часов.



Установка РИУС-5

Тип установки – ускоритель электронов импульсный, предназначен для получения коротких импульсов жесткого фотонного излучения высокой интенсивности. Источником высокого напряжения является импульсный генератор на связанных контурах (трансформатор Тесла). Электроны тормозятся на мишени из тяжелого металла (тантал) с образованием тормозного излучения.

Эффективная длительность импульса: от 23,3 до 25 нс.

Мощность дозы – $4,5 \cdot 10^{10}$ Р/с.

Экспозиционная доза за импульс – до 1050 Р.

Средняя энергия тормозного излучения – 0,67 МэВ.

Облучаемый объем с макс. мощностью дозы – 66 см³.

Размеры испытательного бокса (Д×Ш×В) – 2×1×1 м.

Производительность – 10 имп./смена.

Эксплуатация установки осуществляется на основании выданной Роспотребнадзором лицензии № 77.99.15.002.Л.00044.03.11 от 28.03.2011 г. на использование ИИИ (генерирующих): РИ и ускорители заряженных частиц (бессрочная) и СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000021.03.21 от 29.03.2021 г. Установка аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.415-98 и ГОСТ РВ 20.57.308-98.

В 2024 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой РИУС-5, составило 164 импульса.



Установка ЛИУ-10

Тип установки – линейный индукционный ускоритель электронов. Установка предназначена для получения коротких импульсов жесткого фотонного излучения высокой интенсивности. Установка ЛИУ-10 состоит из 16 одинаковых секций, каждая из которых по существу представляет собой независимый ускоритель заряженных частиц. Тормозное излучение генерируется при поглощении пучка электронов в аноде-мишени. Материал мишени тантал.

Эффективная длительность импульса – от 9,35 до 10,9 нс.

Максимальная мощность дозы у мишени – $1,4 \cdot 10^{11}$ Р/с.

Экспозиционная доза за импульс – от 0,68 до 7400 Р.

Средняя энергия тормозного излучения – 2,1 МэВ.

Производительность – 5 имп./смена.

Диаметр пятна с макс. мощностью дозы – 4 см.

Размеры испытательного бокса (Д×Ш×В) – 3×2,5×1,8 м.

Эксплуатация установки осуществляется на основании выданной Роспотребнадзором лицензии № 77.99.15.002.Л.00044.03.11 от 28.03.2011 г. на использование ИИИ (генерирующих): РИ и ускорители заряженных частиц (бессрочная) и СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000021.03.21 от 29.03.2021 г. Установка аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.415-98 и ГОСТ РВ 20.57.308-98.

В 2024 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой ЛИУ-10, составило 57 импульсов.



Установка УИН-10П

Тип установки – импульсный сильноточный ускоритель электронов. Установка предназначена для получения коротких импульсов жесткого фотонного излучения высокой интенсивности. Возможно одновременное воздействие тормозного излучения (ТИ) с электромагнитным импульсом. Ускоритель включает в себя генератор импульсного напряжения (ГИН), созданный на базе 4-х идентичных высоковольтных цепей, собранных параллельно по схеме Аркадьева-Маркса и систему формирования импульса (СФИ). СФИ состоит из промежуточного индуктивного накопителя энергии с электровзрывным прерывателем тока, соединенного с обостряющим газовым разрядником и срезающим масляным разрядником. Посредством коаксиальной вакуумной линии газовый разрядник соединен с вакуумным диодом (ВД), в ВД между катодом и плоским анодом-мишенью происходит формирование и ускорение электронного пучка, при поглощении которого в материале анода генерируется ТИ. Работа ускорителя в режимах генерации импульсов ТИ характеризуется уровнем запасённой энергии ~ 220 кДж, амплитудой импульса напряжения на входе в коаксиальную вакуумную линию до 7,5 МВ и тока в диоде с различной геометрией катода до 60 кА.

Наносекундный режим:

1. Сфокусированный пучок:

- диапазон экспозиционной дозы ТИ – от 10 Р до 77000 Р;
- мощность экспозиционной дозы ТИ – до $9,8 \cdot 10^{11}$ Р/с;
- длительность импульса – 70 нс.

2. Расфокусированный режим:

- длительность импульса – 94 нс;
- диапазон экспозиционной дозы ТИ – от 26 Р до 6000 Р;
- мощность экспозиционной дозы ТИ – до $6,5 \cdot 10^{10}$ Р/с.
- электромагнитного поля (ИЭМП) – $86,0 \pm 5,9$ кВ/м;
- напряженность магнитной составляющей ИЭМП – 232,7 А/м;
- длительность импульса – 34,4 нс.

Режим микросекундного импульса:

- диапазон длительности импульса – от 1,6 до 2 мкс;
- экспозиционная доза ТИ на мишени в объеме 10 см^3 – до 50 кР.

Режим воспроизведения электромагнитного импульса:

- напряженность в электрической составляющей импульсного электромагнитного поля (ИЭМП) – $86,0 \pm 5,9 \text{ кВ/м}$;
- напряженность магнитной составляющей ИЭМП – $232,7 \text{ А/м}$;
- длительность импульса – $34,4 \text{ нс}$.

Эксплуатация установки осуществляется на основании выданной Роспотребнадзором лицензии № 77.99.15.002.Л.00044.03.11 от 28.03.2011 г. на использование ИИИ (генерирующих): РИ и ускорители заряженных частиц (бессрочная) и СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000021.03.21 от 29.03.2021 г.

Установка аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.415-98 и ГОСТ РВ 20.57.308-98.

В 2024 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой УИН-10П, составило 208 импульсов.



Установка АРСА

Тип установки – малогабаритный импульсный ускоритель электронов. Ускоритель АРСА предназначен для получения коротких импульсов электронного и жесткого рентгеновского излучения. Импульсный ускоритель АРСА является ускорителем прямого действия. Генератор импульсного напряжения ускорителя выполнен по схеме Аркадьева-Маркса на неуправляемых газонаполненных разрядниках с импульсной зарядкой накопительных конденсаторов от высоковольтного импульсного трансформатора.

Максимальная энергия квантов – 0,9 МэВ.

Диаметр пятна излучения на расстоянии 1 см от выходного окна трубки – не более 10 мм.

Максимальная мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на 1 см от выходного окна трубки – $5,5 \cdot 10^9$ Р/с.

Максимальная мощность поглощенной дозы электронного излучения на 1 см выходного окна трубки в «Si» – $1 \cdot 10^{14}$ Рад/с.

Эффективная длительность импульса на полувысоте – 7 нс.

Минимальное время между импульсами – 5 мин.

Эксплуатация установки осуществляется на основании выданной Роспотребнадзором лицензии № 77.99.15.002.Л.00044.03.11 от 28.03.2011 г. на использование ИИИ (генерирующих): РИ и ускорители заряженных частиц (бессрочная) и СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000021.03.21 от 29.03.2021 г.



Установка PULSYS-RAD

Тип установки – источник импульсного сфокусированного лазерного излучения. Установка предназначена для моделирования одиночных радиационных эффектов, возникающих при воздействии тяжелых заряженных частиц. В состав установки входят два независимых импульсных источника лазерного излучения (ЛИ) с различными характеристиками, реализующими одно- и двух- фотонные механизмы поглощения фотонов в кремнии. Источники формируют импульсы с заданными временными и энергетическими характеристиками. Оптическая система передает лазерное излучение и фокусирует его на исследуемой области. Микроскоп оптической системы визуализирует поверхность объекта испытаний и точку воздействия лазерного излучения в инфракрасном спектре. Размещение и позиционирование объекта испытаний осуществляется при помощи прецизионной механизированной системы. Специализированное ПО позволяет оператору управлять всеми составными частями установки, оперативно отслеживать результаты, а также анализировать и сохранять полученные экспериментальные данные.

Диаметр пятна ЛИ – от 1,2 мкм.

Длина волны лазерного излучения – 1064 и 1550 нм.

Длительность импульса – 30 пс (на длине волны 1064 нм) и 450 фс (на длине волны 1550 нм).

Частота повторения импульсов – до 10 МГц (на длине волны 1064 нм) и до 1 МГц (на длине волны 1550 нм).

Энергия ЛИ в импульсе – от 0,005 до 17,4 нДж (на длине волны 1064 нм) и от 0,003 до 9,8 нДж (на длине волны 1550 нм).



Импульсный исследовательский ядерный реактор БАРС-4

Тип установки – импульсный, апериодического действия, самогасящийся, двузонный ядерный реактор на быстрых нейтронах.

Длительность (полуширина) импульса – 44 мкс.

Флюенс нейтронов:

- в центре активной зоны – 10^{15} н/см²;
- на поверхности активной зоны – $5 \cdot 10^{14}$ н/см².

Экспозиционная доза гамма-излучения за импульс в центральном канале – 100 кР.

Средняя энергия нейтронов – 1,2 МэВ.

В 2024 году ИИЯР БАРС-4 эксплуатировался в режиме длительного останова на основании лицензии ГН-03-108-4329 от 07.12.2022 в связи с модернизацией СУЗ.

Кроме установок АО «НИИП» при проведении испытаний ЭКБ и РЭА в 2024 году использовались изохронный циклотрон У-400 Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова ОИЯИ, г. Дубна и импульсный исследовательский ядерный реактор БАРС-6 ГНЦ РФ Физико-энергетического института им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск.

Установки климатико-механического комплекса



**Стенд
одиночного удара
The Avex SM 105-MP**

Тип установки – стенд одиночного удара пневматического типа The Avex SM 105-MP предназначен для воспроизведение ударных нагрузок при испытаниях электрорадиоизделий, радиоэлектронной аппаратуры и материалов.

Пиковое ускорение – от 500 до 5000 g (от 4905 до 49050 м/с²).

Длительность ударного ускорения – от 0,1 до 1 мс.

Форма импульса – полусинусоидальная.

Эксплуатация стенда осуществляется на основании СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000069.05.20 от 27.05.2020 г. Установка аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.305-98, ГОСТ РВ 20.57.416-98.



Установка УСП-50

Тип установки – ударный стенд пневматический. Предназначен для воспроизведения ударных нагрузок с различной длительностью при испытаниях электрорадиоизделий, радиоэлектронной аппаратуры и материалов.

Пиковое ускорение при воспроизведении ударного ускорения – от 5 до 600 g (от 49,05 до 5886 м/с²).

Длительность ударного ускорения – от 1 до 30 мс.

Форма импульса – полусинусоидальная.

Эксплуатация стенда осуществляется на основании СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000069.05.20 от 27.05.2020 г. Установка аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.305-98, ГОСТ РВ 20.57.416-98.



Установка УУЭ-2/200

Тип установки – ударный электродинамический стенд. В основу работы установки положен принцип взаимодействия катушки с током с постоянным магнитным полем в кольцевом зазоре электромагнита. В результате взаимодействия магнитных полей возникает ЭДС, выталкивающая катушку из зазора с переменной скоростью в направлении, перпендикулярном плоскости ее витков. Стенд предназначен для проведения испытаний ЭКБ и РЭА на устойчивость и прочность при воздействии механических ударов одиночного и многократного действия.

Вес испытуемых изделий – до 3 кг.

Пиковое ускорение ударного импульса – от 20 до 150 g.

Длительность действия ударного импульса – 2 и 5 мс.

Число ударов в минуту – от 40 до 120.

Эксплуатация стенда осуществляется на основании СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000069.05.20 от 27.05.2020 г. Стенд аттестован на соответствие требованиям ЖГ 1.1.430.063 ТО, ГОСТ РВ 20.57.305-98, ГОСТ РВ 20.57.416-98.

В 2024 году общая продолжительность испытаний на стенде составила 4 смены.



Камера термоудара TSG-71S-A

Установка предназначена для воспроизведения повышенной и пониженной температуры среды полезного объема с быстрым изменением температуры при испытаниях электрорадиоизделий, радиоэлектронной аппаратуры и материалов. Камера термоудара TSG-71S-A позволяет проводить испытания в температурном диапазоне от минус 70 °С до 0 °С и от плюс 60 °С до плюс 200 °С, время перехода от пониженной температуры к повышенной (или наоборот) – менее 5 минут; Эксплуатация стенда осуществляется на основании СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000069.05.20 от 27.05.2020 г. Установка аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.306-98, ГОСТ РВ 20.57.416-98.



Камера тепла, холода и влаги КТК-800

Установка предназначена для воспроизведения повышенной и пониженной температуры среды полезного объема, а также воссоздания условий пониженной и повышенной влажности в полезном объеме камеры.

Диапазон воспроизводимых температур составляет – от минус 65 °С до плюс 85 °С.
Диапазон воспроизводимой относительной влажности – от 20 % до 98 %.

Эксплуатация камеры осуществляется на основании СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000069.05.20 от 27.05.2020 г.



Камера циклического изменения температуры КТЦ-0,025

Установка КТЦ-0,025 предназначена для воспроизведения воздействия повышенной и пониженной температуры, а также изменения температуры при испытании электрорадиоизделий, радиоэлектронной аппаратуры и материалов. Диапазон воспроизводимой температуры – в отсеке тепла от 50 °С до 155 °С; в отсеке холода от $t_{\text{окр.ср.}}$ до минус 65 °С.

Средняя скорость достижения температурных режимов, не менее – при нагревании от $t_{\text{окр.ср.}}$ до 155 °С – 3 минуты; при охлаждении от $t_{\text{окр.ср.}}$ до минус 65 °С – 1 минута. Время восстановления температурных режимов после загрузки образцов (при времени загрузки 1 минута), не более – 5 минут.

Отклонение воспроизводимой температуры от заданного значения температуры в полезном объеме камеры в течение времени выдержки, не более – ± 2 °С.

Эксплуатация стенда осуществляется на основании СЭЗ № 77.МУ.02.000.М 000069.05.20 от 27.05.2020 г. Установка аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.306-98, ГОСТ РВ 20.57.416-98.

Установки, моделирующие воздействие импульсных электрических и магнитных полей



**Установка
УИЭП**

Установка предназначена для воспроизведения импульсных электромагнитных полей (ИЭМП) при проведении испытаний электрорадиоизделий, радиоэлектронной аппаратуры и материалов на стойкость к воздействию импульсных электромагнитных полей ИЭМП.

Диапазон значений напряженности электрической составляющей ИЭМП – от 1 до 20 кВ/м.

Диапазон значений напряженности магнитной составляющей ИЭМП – от 9,2 до 183,5 А/м.

Длительность электромагнитного импульса – 25 нс.

Время нарастания импульса – не более 5 нс.

Установка аттестована на соответствие требованиям РЭ-30-2021, ГОСТ РВ 20.57.308-98, ГОСТ РВ 20.39.305-98

В 2024 году общее количество ЭМ импульсов, сгенерированных установкой УИЭП, составило 64.



Установки ИГМ 05.1 и ИГМ 5.1

Тип установки – генератор одиночных импульсов напряжения. Установки ИГМ 05.1 и ИГМ 5.1 предназначены для воспроизведения одиночных импульсов напряжения при испытаниях ЭКБ на стойкость к воздействию импульсного напряжения, генерируемого ЭМИ в соединительных линиях блоков РЭА.

Импульсное входное напряжение – от 5 до 500 В (ИГМ 05.1); 500 до 5000 В (ИГМ 5.1).

Значение выходного импеданса генераторов импульсов – 40 Ом.

Длительность импульса напряжения дискретная – 0,1; 1; 10 мкс.

Максимальный импульсный ток – не менее 10 А.

Длительность переднего фронта импульса – не более 5 % от длительности импульса.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Основной целью метрологической службы АО «НИИП» является обеспечение полного цикла метрологического сопровождения испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость.

Основными задачами метрологической службы являются:

- планирование, организация и проведение поверки и калибровки средств измерений (СИ);
- участие в аттестации испытательного оборудования (ИО);
- разработка и аттестация методик измерений;
- аттестация и поддержание в надлежащем состоянии эталонов единиц величин и их техническое обслуживание;
- проведение метрологической экспертизы программ и методик испытаний и аттестации ИО.

АО «НИИП» обладает широким парком СИ, позволяющим проводить измерения таких физических величин, как дозиметрические, электрические, магнитные, временные.

Метрологическая служба имеет следующие разрешительные документы:

- Аттестат аккредитации № RA.RU.311471 в области обеспечения единства измерения для выполнения работ и (или) оказания услуг по поверке СИ в соответствии с областью аккредитации;
- Аттестат аккредитации № RA.RU.312371 в области обеспечения единства измерения для выполнения работ и (или) оказания услуг по аттестации методик измерений в соответствии с областью аккредитации;
- Экспертное заключение № 32.0024-23 от 24.11.2023 г. на право осуществлять аттестацию испытательного оборудования в соответствии с областью аккредитации. Действительно до 24.11.2026.

Область аккредитации по обеспечению единства измерений для выполнения работ и (или) оказания услуг по поверке СИ позволяет проводить работы по поверке СИ в следующих направлениях:

- измерения давления, вакуумные измерения;
- температурные и теплофизические измерения;
- измерения времени и частоты;
- измерения электротехнических и магнитных величин;
- радиотехнические и радиоэлектронные измерения;
- измерения характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант.

Область аккредитации по обеспечению единства измерений для выполнения работ и(или) оказания услуг по аттестации методик измерений позволяет проводить аттестацию следующих методик (методов) измерений:

- характеристик полей ионизирующих излучений радиационных установок (ядерные реакторы, ускорители электронов, протонов, тяжелых заряженных частиц, нейтронные генераторы, рентгеновские установки, изотопные бета- и гамма-излучения);
- применяемых при радиационном мониторинге местности и контроле радиационной обстановки на рабочих местах и промышленной площадке предприятия;
- при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по специализации АО «НИИП», основанных на применении следующих методов: альфа-, бета-, гамма-спектрометрии; ионизационной, сцинтилляционной и термолюминесцентной дозиметрии; спектрофотометрической и калориметрической дозиметрии; нейтронно-активационных измерений характеристик полей нейтронного излучения на ядерно-физических установках; протонно-активационных измерений характеристик полей протонного излучения; весового и электрометрического, включая выполняемые с помощью измерительных систем;
- электрических и магнитных величин, радиотехнические и радиоэлектронные измерения.

Экспертное заключение по ИО позволяет проводить аттестацию ИО, виды и характеристики которых представлены в таблице 1, а также ИО для воспроизведения электромагнитного импульса, ИО для воспроизведения электрического импульса, ИО для воспроизведения температуры, влажности, давления, ИО для воспроизведения удара.

Перечень радиационного ИО, применяемого при оценке соответствия ЭКБ и РЭА требованиям по радиационной стойкости, аттестацию которого осуществляет АО «НИИП», приведен в таблице III.1.

Таблица III.1 – Перечень радиационного испытательного оборудования, аттестацию которого проводит метрологическая служба АО «НИИП»

Вид испытательного оборудования	Характеристики испытательного оборудования
ИО для воспроизведения экспозиционной дозы	Диапазон воспроизведения экспозиционной дозы гамма, рентгеновского, тормозного излучения: от $1,81 \cdot 10^{-10}$ до $1,34 \cdot 10^5$ Кл·кг⁻¹ (от $7,0 \cdot 10^{-7}$ до $5,2 \cdot 10^8$ Р). Допустимое отклонение воспроизведения экспозиционной дозы гамма-, рентгеновского, тормозного излучения: $\pm 7,5$ %.
ИО для воспроизведения мощности экспозиционной дозы	Диапазон воспроизведения мощности экспозиционной дозы гамма, рентгеновского, тормозного излучения: от $1,96 \cdot 10^{-11}$ до $1,29 \cdot 10^{10}$ А·кг⁻¹ (от $7,6 \cdot 10^{-8}$ до $5,0 \cdot 10^{13}$ Р·с⁻¹). Допустимое отклонение воспроизведения экспозиционной дозы гамма, рентгеновского, тормозного излучения в диапазоне: – от $1,96 \cdot 10^{-11}$ до $3,87 \cdot 10^{-1}$ А·кг⁻¹: $\pm 7,5$ %; – от $3,87 \cdot 10^{-1}$ до $67,1$ А·кг⁻¹: ± 20 %; – от $67,1$ до $1,29 \cdot 10^{10}$ А·кг⁻¹: ± 30 %.
ИО для воспроизведения кермы	Диапазон воспроизведения кермы в воздухе гамма, рентгеновского, тормозного излучения: от $6,0 \cdot 10^{-9}$ до $4,6 \cdot 10^6$ Гр. Допустимое отклонение воспроизведения кермы в воздухе гамма, рентгеновского, тормозного излучения: $\pm 7,5$ %.
ИО для воспроизведения мощности кермы	Диапазон воспроизведения мощности кермы в воздухе гамма-, рентгеновского, тормозного излучения: от $6,7 \cdot 10^{-10}$ до $4,4 \cdot 10^{11}$ Гр·с⁻¹. Допустимое отклонение воспроизведения мощности кермы в воздухе гамма-, рентгеновского, тормозного излучения в диапазоне: – от $6,7 \cdot 10^{-10}$ до 13 Гр·с⁻¹: $\pm 7,5$ %; – от $13,0$ до $2,3 \cdot 10^3$ Гр·с⁻¹: ± 20 %; – от $2,3 \cdot 10^3$ до $4,4 \cdot 10^{11}$ Гр·с⁻¹: ± 30 %.
ИО для воспроизведения поглощенной дозы	Диапазон воспроизведения поглощенной дозы в кремнии: от 10^{-2}-до $5 \cdot 10^3$ Гр. Допустимое отклонение воспроизведения поглощенной дозы в кремнии: ± 20 %.
ИО для воспроизведения мощности поглощенной дозы	Диапазон воспроизведения поглощенной дозы в кремнии: от 10^{-4} до 50 Гр с⁻¹. Допустимое отклонение воспроизведения поглощенной дозы в кремнии: ± 20 %.

ИО для воспроизведения флюенса	Диапазон воспроизведения флюенса протонов: от 10^9 до $1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Допустимое отклонение воспроизведения флюенса протонов: $\pm 18 \%$. Диапазон воспроизведения флюенса нейтронов: от 10^9 до 10^{16} см^{-2}. Допустимое отклонение воспроизведения флюенса нейтронов: $\pm 15 \%$. Диапазон воспроизведения флюенса ТЗЧ частиц: от 10^3 до 10^9 см^{-2}. Допустимое отклонение воспроизведения флюенса ТЗЧ: $\pm 26 \%$.
ИО для воспроизведения плотности потока	Диапазон воспроизведения плотности потока протонов: от 10^4 до $1,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Допустимое отклонение воспроизведения плотности потока протонов: $\pm 18 \%$. Диапазон воспроизведения плотности потока нейтронов: от 10^{13} до $10^{20} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Допустимое отклонение воспроизведения плотности потока нейтронов: $\pm 15 \%$. Диапазон воспроизведения плотности потока ТЗЧ: от 1 до $10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Допустимое отклонение воспроизведения плотности потока ТЗЧ: $\pm 26 \%$.
ИО для воспроизведения энергии	Диапазон воспроизведения энергии протонов от: 10 МэВ до 10 ГэВ. Допустимое отклонение воспроизведения энергии протонов: $\pm 9 \%$. Диапазон воспроизведения энергии нейтронного излучения: от 10-10 до 18 МэВ. Допустимое отклонение воспроизведения энергии нейтронного излучения: $\pm 15 \%$. Диапазон воспроизведения энергии ТЗЧ: от 24 МэВ до 13 ГэВ. Допустимое отклонение воспроизведения энергии ТЗЧ: $\pm 1 \%$. Диапазон воспроизведения энергии фотонного излучения: 5 кэВ до 10 МэВ. Допустимое отклонение воспроизведения фотонного излучения: $\pm (5 - 20) \%$.
ИО для воспроизведения плотности потока энергии	Диапазон воспроизведения плотности потока энергии электронов – от 1 до $15 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$
ИО для воспроизведения длительности импульса ИИ	Диапазон воспроизведения длительности импульса: от 0,5 нс до 10 мс. Допустимое отклонение воспроизведения длительности импульса: $\pm (5 - 20) \%$.

Метрологическая служба использует в своей работе более различных 100 эталонов. Основными эталонами измерений характеристик ионизирующих излучений и ядерных констант являются:

- Вторичный эталон единицы мощности кермы в воздухе и кермы в воздухе гамма-излучения в диапазоне значений ($2 \cdot 10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-2}$) Гр·с⁻¹ (ВЭТ8-13-92 на базе гамма терапевтического аппарата АГАТ-С);
- Эталон 2 разряда единицы мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в диапазоне значений (0,170 – 1,536) мР·мин⁻¹ на базе радиоизотопной установки «Гамма»;
- Эталон 2 разряда единицы мощности экспозиционной дозы в диапазоне значений ($2,8 \cdot 10^{-3} - 1,51 \cdot 10^3$) мкР·ч⁻¹ на базе установки УПГД-2;
- Эталон 1 разряда единицы плотности потока нейтронов в диапазоне значений (1,5 - 7000) нейтр·см⁻²·с на базе установки УКПН-1М;
- Эталон 2 разряда единицы мощности кермы в воздухе (мощности экспозиционной дозы гамма-излучения) с номинальным значением 0,661 Гр·с⁻¹ (75,2 Р·с⁻¹) на базе установки ГУ-200;
- Эталон 1 разряда единицы мощности кермы в воздухе рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне значений ($3 \cdot 10^{-3} - 2,5$) Гр·мин⁻¹ (дозиметр ДКС-АТ 5350/1);
- Рабочий эталон 1 разряда кермы и мощности кермы в воздухе, экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы в диапазоне значений ($6,7 \cdot 10^{-10} - 13$) Гр·с⁻¹ (дозиметр PTW UNIDOS^{webline} с набором ионизационных камер TN32002, TN32003, TN32005, TN31013, TN23344W);
- Комплект эталонных спектрометрических источников гамма-излучения ОСГИ-РТ (Cs¹³⁷, Eu¹⁵², Ba¹³³, Th²²⁸, Co⁶⁰, Am²⁴¹, Bi²⁰⁷, Ti⁴⁴, Fe⁵⁵);
- Эталонные источники альфа-излучения (1П9, 3П9, 5П9), эталонные источники бета- излучения (1СО, 6СО).

За 2024 год в соответствии с графиком поверки (калибровки) в АО «НИИП» было поверено (откалибровано) 937 единиц средств измерений, из них силами метрологической службы АО «НИИП» поверено 620 единиц.

За 2024 год в соответствии с графиком в АО «НИИП» было аттестовано 19 единиц испытательного оборудования.

В 2024 году сторонним организациям были оказаны следующие услуги:

- проведена аттестация испытательного стенда на базе установки «Гамма МРХ МИФИ» в дополнительной области полезного испытательного объема для АО «ЭНПО СПЭЛС»;
- проведена периодическая аттестация импульсного ускорителя АРСА (в режиме тормозного излучения) для АО «НПП «Пульсар»

НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ ПО ТЕМАТИКЕ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Проект ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов»

В 2024 году в АО «НИИП» были завершены работы по 2-х летнему проекту ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов».

Проблема одиночных радиационных эффектов, возникающих в изделиях ЭКБ при воздействии нейтронного излучения, актуальна для изделий ЭКБ, применяемых в системах управления на объектах атомной энергетики и других ядерных установок, в частности радионуклидных автономных источников электропитания. С точки зрения воздействия «атмосферных» нейтронов проблема актуальна для дата-центров, суперкомпьютеров, в которых используются большие информационные емкости запоминающих устройств, а также для систем управления в авионике, которые подвергаются воздействию повышенных потоков «атмосферных» нейтронов по сравнению с наземным уровнем.

В целом, источники нейтронного излучения, для которых определение стойкости изделий ЭКБ является актуальной задачей, характеризуются широким набором спектрально-энергетических и амплитудно-временных характеристик. К основным характеристикам относятся энергетический спектр нейтронов, плотность потока и флюенс нейтронов за назначенный срок эксплуатации изделия ЭКБ. В месте расположения изделий ЭКБ в полях нейтронного излучения ядерных установок и радионуклидных автономных источников электропитания плотности потока нейтронов могут достигать $10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ с максимальной энергией нейтронов до 20 МэВ. Средние плотности потока «атмосферных» нейтронов варьируются от 10 до $10^4 \text{ см}^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$ с максимальной энергией нейтронов до 10 ГэВ. Плотности потока «атмосферных» нейтронов могут кратковременно возрастать на несколько порядков величины в зависимости от солнечной активности.

Критериями, характеризующими способность изделия ЭКБ выполнять свои функции с точки зрения одиночных радиационных эффектов в условиях воздействия нейтронного излучения, являются средние частоты отказов и сбоев или связанные с ними вероятности безотказной и бессбойной работы изделия ЭКБ.

Для оценки рисков, связанных с возникновением одиночных радиационных эффектов при воздействии нейтронного излучения, и выработки технических решений, минимизирующих данные риски, требуется разработка методологии определения характеристик чувствительности ЭКБ (испытаний ЭКБ) к воздействию нейтронного излучения различной интенсивности и различного спектрально-энергетического состава.

Целью работы являлись обоснование и разработка типовой методики расчетно-экспериментальной оценки стойкости ЭКБ на стойкость к воздействию нейтронного излучения по одиночным радиационным эффектам.

В рамках выполнения работ по первому этапу проекта МТ-510 были проанализированы существующие модели одиночных радиационных эффектов в ЭКБ, возникающих при воздействии нейтронов. Предложены две методики расчета частот возникновения одиночных событий от нейтронов – методика на основе модели линейной передачи энергии вторичных ионов (ЛПЭВИ) и методика на основе BGR-метода (Burst Generation Rate Method). Для расчета частот обе методики предполагают наличие экспериментальных данных по зависимости сечений сбоев от ЛПЭ ТЗЧ. Методика, основанная на модели ЛПЭВИ работает вполне успешно для предсказания сечений сбоев от нейтронов для ЭКБ с малыми проектными нормами. Методика, основанная на BGR-методе, может быть использована для определения чувствительности ЭКБ с большими проектными нормами. Обе модели позволяют рассчитывать сечение одиночных сбоев при воздействии нейтронов различного энергетического спектра, включая: спектр деления, моноэнергетических нейтронов от источников типа нейтронных генераторов, а также источников нейтронов со спектром, близким к атмосферному.

В рамках выполнения работ по второму этапу проекта МТ-510 разработана типовая методика расчетно-экспериментальной оценки стойкости ЭКБ на стойкость к воздействию нейтронного излучения по одиночным радиационным эффектам, а также разработаны программы-методики и проведены экспериментальные исследования для её валидации.

Суть расчетно-экспериментальной процедуры по оценке стойкости ЭКБ к воздействию нейтронного излучения по одиночным радиационным эффектам заключается в следующем:

- проводятся испытания изделия на генераторе нейтронов при двух значениях энергии нейтронов 2.5 МэВ и 14 МэВ и ускорителе протонов с одной энергией в диапазоне 200-1000 МэВ, в процессе испытаний выполняется регистрация одиночных радиационных эффектов (ОРЭ), проводится вычисление сечений – $\sigma = N_{\text{собр}} / \Phi_{\text{част}}$, где $N_{\text{собр}}$ – число наблюдаемых ОРЭ, $\Phi_{\text{част}}$ – флюенс частиц;

- зависимость сечения ОРЭ – $\sigma_n(E)$ от энергии нейтронов – E_n аппроксимируется типовой функцией вида $\sigma_n(E) = \sigma_0 \cdot \exp(-E_0/E_n)$, где σ_0 и E_0 – параметры аппроксимирующей функции, определяемые по наилучшему согласию с экспериментальными данными;

- расчет частоты ОРЭ и вероятности отказа в реальных условиях эксплуатации проводится по соотношениям – $\nu_{\text{расч}} = \int f(E_n) \cdot \sigma_0 \cdot$

$\exp\left(-\frac{E_0}{E_n}\right) dE_n$ и $P = 1 - \exp(-\nu_{расч} \cdot t_{эксп})$, где $f(E_n)$ – дифференциальная плотность потока нейтронов в реальных условиях эксплуатации, $t_{эксп}$ – требуемое время эксплуатации.

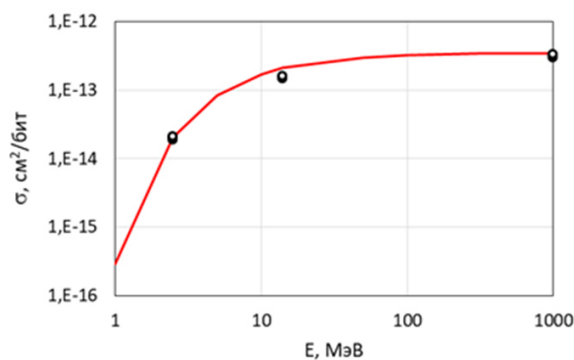
Для проведения испытаний ЭКБ на воздействие нейтронов по одиночным радиационным эффектам были выбраны генераторы нейтронов с энергией 2,5 МэВ и 14 МэВ, протоны высоких с энергией 1000 МэВ, нейтроны спектра деления, а также источник нейтронов, моделирующий спектр «атмосферных» нейтронов на основе ускорителя протонов с энергией 1000 МэВ.

Таблица III.2 – Перечень радиационных установок, использованных при проведении испытаний ЭКБ

Наименование испытательной установки	Режим работы	Название организации и месторасположение
НГ-12И	Генератор нейтронов энергией 2,5 МэВ	ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ г. Снежинск
	Генератор нейтронов энергией 14 МэВ	
БАРС-5	Статический	
СЦ-1000	Вывод протонов с энергией 1 ГэВ	НИЦ Курчатовский институт/ПИЯФ, г. Гатчина
	Вывод атмосферных нейтронов	

Для проведения испытаний ЭКБ была выбрана репрезентативная ЭКБ, которая включала несколько типов интегральных микросхем запоминающих устройств с различными технологическими нормами изготовления и мощные МОП-транзисторы с вертикальной структурой. Для проведения исследований были разработаны методы измерения параметров данных изделий и испытательная оснастка для задания электрических режимов в процессе испытаний.

Пример реализации предложенной расчетно-экспериментальной процедуры по оценке стойкости ЭКБ к воздействию нейтронного излучения по одиночным радиационным эффектам представлен ниже.



$$\sigma_{\text{БАРС_расч}} = 1,2 \times 10^{-14} \text{ см}^2/\text{бит}$$

$$\sigma_{\text{БАРС_эксп}} = 9,7 \times 10^{-15} \text{ см}^2/\text{бит}$$

$$\sigma_{\text{АН_расч}} = 1,2 \times 10^{-13} \text{ см}^2/\text{бит}$$

$$\sigma_{\text{АН_эксп}} = 9,9 \times 10^{-14} \text{ см}^2/\text{бит}$$

Рис. III.1. Аппроксимация зависимости сечения одиночных сбоев в КМОП СОЗУ 180 нм от энергии нейтронов по результатам испытаний при воздействии нейтронов с энергиями 2,5 и 14 МэВ и протонов с энергией 1 ГэВ и сравнение рассчитанных значений сечений одиночных сбоев с полученными в экспериментах на БАРС-5 (спектр деления) и СЦ-1000 в режиме вывода нейтронов со спектром близким к спектру атмосферных нейтронов

Проведенные сравнения экспериментальных данных и результатов оценки стойкости ЭКБ на примере номенклатуры изделий, использованных при проведении исследований, показали, что разработанные в рамках проекта методики адекватно предсказывают сечения ОРЭ как для атмосферного спектра нейтронов, так и для нейтронов спектра деления. Разработанные методики позволяют обеспечить соответствие компетенций испытательных центров Госкорпорации «Росатом» современным требованиям нормативных документов в области радиационных испытаний ЭКБ и несомненно повысят достоверность результатов испытаний и расчетно-экспериментальной-оценки стойкости ЭКБ.

НИОКР «Экспериментальные исследования и разработка методики по использованию двухкамерного газового разрядника на ускорителе УИН-10»

НИОКР «Экспериментальные исследования и разработка методики по использованию двухкамерного газового разрядника на ускорителе УИН-10» выполнялась в рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Наука и инновации». Целью данной НИОКР являлось повышение амплитудно-временных характеристик импульса тормозного излучения микросекундной длительности при одновременном сокращении времени на переход между режимами микросекундной и наносекундной длительности импульсов работы установки. Новизна данной работы заключалась в расширении функций двухкамерного газового разрядника в схеме ускорителя с индуктивным накопителем путем придания ему свойств как коммутатора, так и защитного разрядника.

В результате экспериментальных исследований по использованию двухкамерного газового разрядника обосновано его использование как в качестве защитного разрядника элементов конструкции электровзрывного прерывателя тока, так и в качестве коммутатора в разрядном контуре ускорителя УИН-10. Подтверждено соответствие характеристик импульсов тормозного излучения аттестованным значениям, выполненным с расширенными функциями разрядника. В рамках данной работы была разработана и утверждена инструкция эксплуатационная специальная, содержащая методику подготовки установки УИН-10 к работе в режимах наносекундного и микросекундного импульсов. Достигнутые результаты позволили сократить время перехода с режима микросекундного импульса к режиму наносекундного импульса и наоборот с 2-х рабочих смен до 1 часа. По результатам работы зарегистрирован секрет производства. Работа была признана лучшим ПСР-проектом среди предприятия АО «Росатом Наука».

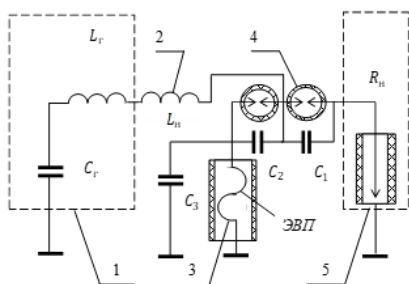


Рис. III.4. Схема разрядного контура ускорителя УИН-10, в которой двухкамерный разрядник используется как коммутатор и как защитный разрядник

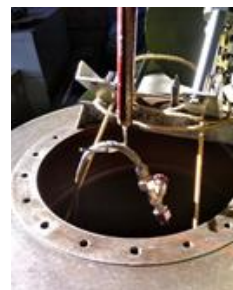


Рис. III.5. Фотография газовой трубки автономного газонаполнения двухкамерного разрядника на ускорителе УИН-10

НИОКР «Исследование влияния дозовых нагрузок на электрическую прочность МОП-структур»

НИОКР «Исследование влияния дозовых нагрузок на электрическую прочность МОП-структур» выполнялась в рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Наука и инновации». Целью данной НИОКР являлась разработка методики исследования влияния дозовых нагрузок на электрическую прочность МОП-структур.

В ходе НИОКР «Исследование влияния дозовых нагрузок на электрическую прочность МОП-структур» было экспериментально исследовано влияния гамма-облучения на электрическую прочность МОП-структур и показано, что при наборе дозы ионизирующего излучения зависимость токов утечки затвора МОП-транзистора от напряжения на затворе в режиме сильнополевой инжекции Фаулер-Нордгейма сдвигается в сторону меньших напряжений на затворе. Установлено, что в пределах погрешности эксперимента сдвиг зависимости токов утечки затвора от напряжения на затворе равен изменению порогового напряжения МОП-транзистора, вызванному воздействием ионизирующего излучения. Были получены временные зависимости тока через подзатворный диэлектрик для разных значений приложенного постоянного электрического напряжения, в том числе и после воздействия ионизирующего излучения. На основе экспериментальных данных была разработана методика исследования влияния дозовых нагрузок на электрическую прочность МОП-структур. Данная методика устанавливает порядок прогнозирования времени безотказной работы МОП-структур в части эффекта пробоя подзатворного диэлектрика по результатам ускоренных испытаний, в том числе после воздействия ионизирующего излучения, ускорение достигается с помощью использования повышенных значений напряжений на затворе.

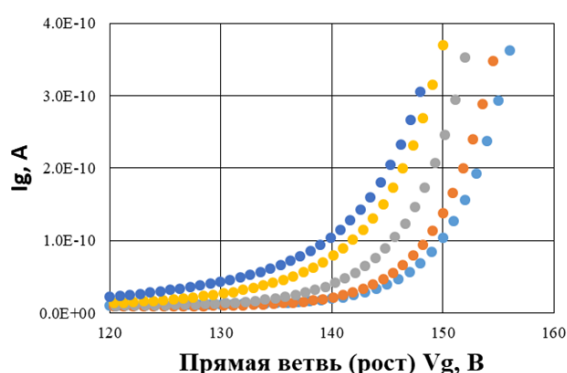


Рис. III.6. Зависимости токов утечки затвора от напряжения после набора дозы ИИ: до облучения (голубой), 50кР (оранжевый), 150кР (серый), 350кР (желтый) и 650кР (синий)

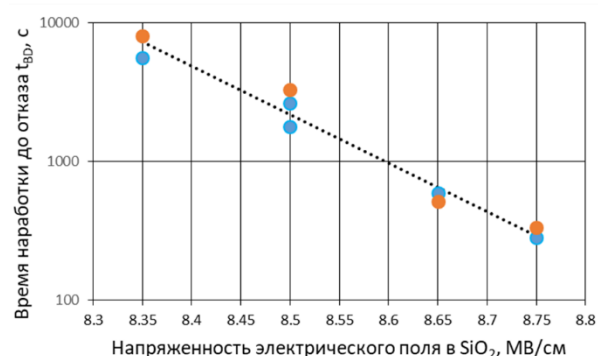


Рис. III.7. Зависимость времени t_{BD} от напряженности электрического поля в SiO_2 : синий - до облучения; оранжевый – после облучения с уровнем дозы 168 кРад(Si)

НИОКР «Разработка проекта методики регистрации порогового напряжения МОП-транзистора после воздействия импульсного ионизирующего излучения в диапазоне времени от 10^{-4} до 10^2 секунд»

НИОКР «Разработка проекта методики регистрации порогового напряжения МОП-транзистора после воздействия импульсного ионизирующего излучения в диапазоне времени от 10^{-4} до 10^2 секунд» выполнялась в рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Наука и инновации». Целью данной НИОКР являлась разработка методики регистрации порогового напряжения МОП-транзисторов после воздействия импульсного ионизирующего излучения в диапазоне времени от 10^{-4} до 10^2 секунд.

В ходе выполнения НИОКР была разработана методика, позволяющая проводить измерения сток-затворной характеристики МОП-транзисторов за 10 мкс с заданием необходимой периодичности после воздействия импульса ионизирующего излучения. Сформулированы требования к измерительному сигналу и схеме измерения. Определена процедура определения порогового напряжения МОП-транзисторов. С целью валидации разработанной методики были проведены экспериментальные исследования изменения порогового напряжения МОП-транзисторов при воздействии ионизирующего излучения. Показано соответствие результатов измерений, проведенных согласно разработанной методике, на короткой (1 м) и длинной (20 м) измерительных линиях и эталонных значений, полученным с помощью параметрического анализатора Keysight B1505A.

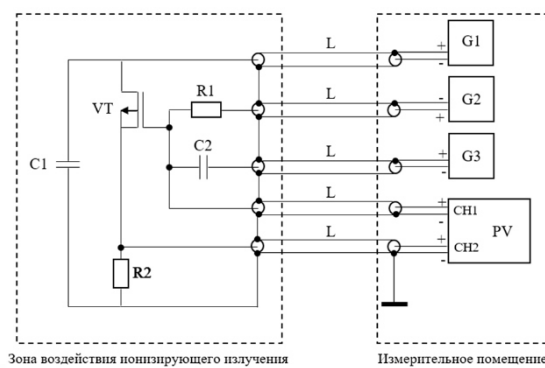


Рис. III.8. Схема регистрации ВАХ МОП-транзистора после воздействия импульсного ИИ. VT – МОП-транзистор; C1, C2 – конденсаторы; R1, R2 – резисторы; G1, G2 – источники постоянного напряжения; G3 – генератор сигналов произвольной формы; PV – осциллограф

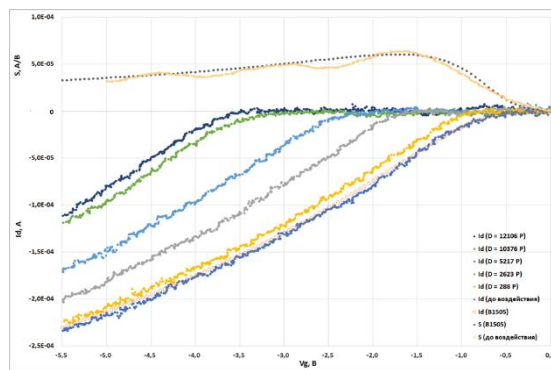


Рис. III.9. Сток-затворные характеристики МОП-транзистора, измеренные после облучения с различными уровнями экспозиционной дозы ИИ

IV. ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КАБЕЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В рамках технического диагностирования и управления ресурсом электротехнической и кабельной продукции на объектах использования атомной энергии АО «НИИП» осуществляет свою деятельность по следующим основным направлениям:

- исследования механизмов старения изоляционных и конструкционных полимерных материалов под воздействием окружающих факторов в эксплуатации на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ);
- мониторинг окружающих условий эксплуатации (температуры, радиации, других воздействующих факторов) кабельных изделий и электрооборудования на ОИАЭ;
- диагностирование и контроль состояния кабельных изделий и электротехнического оборудования непосредственно на объектах эксплуатации;
- оценка соответствия кабельных изделий и электрооборудования обязательным требованиям ОИАЭ в форме испытаний;
- разработка технических документов, определяющих проведение технического диагностирования, контроля состояния и управление ресурсными характеристиками элементов ОИАЭ;
- разработка и внедрение программ по управлению ресурсными характеристиками кабельных изделий и электрооборудования на всех этапах жизненного цикла АЭС и других ОИАЭ.

Объекты, на которых или в отношении которых АО «НИИП» разрешено осуществлять деятельность по условиям действия лицензий: атомные станции (блоки АС) от 31 марта 2022 г. № ЦО-(У)-03-101-12740) и сооружения и комплексы

с исследовательскими ядерными реакторами (лицензия от 23 марта 2022 г. № ЦО-(У)-03-108-12727), суда и иные плавсредства с ядерными реакторами, суда атомно-технологического обслуживания, содержащие ядерные материалы № ЦО-(У)-03-102-13165 от 21 февраля 2023 года.

Состав работ в 2024 году включал в себя научно-исследовательские работы, техническое диагностирование оборудование на АЭС, оценку соответствия изделий в форме испытаний.

Таблица IV.1 – Состав работ в рамках управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии в 2024 году

Заказчик	Название
АО "Наука и инновации"	Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Ленинградская атомная станция"	Проведение работ по оценке технического состояния, обоснованию остаточного ресурса и продлению срока службы кабелей цеха ТАИ на энергоблоках №3, №4 Ленинградской АЭС
АО "Атомэнергопроект"	Проведение испытаний материалов образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС, и исследование механизмов их старения. Разработка методических рекомендаций по управлению старением кабельной продукции, ЭТО и КИПиА
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Кольская атомная станция"	Оценка технического состояния турбогенераторов энергоблоков 3, 4
АО "ВНИИАЭС"	Разработка Программ управления ресурсом кабельной продукции энергоблоков №1-4 АЭС "Аккую"
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Нововоронежская атомная станция"	Проведение диагностики кабелей и кабельных муфт для определения технического состояния
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Смоленская атомная станция"	Мониторинг степени старения кабелей систем безопасности неразрушающими методами контроля согласно действующих нормативно-технических документов в местах с повышенным уровнем деградиционных факторов 1-го энергоблока Смоленской АЭС
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Смоленская атомная станция"	Диагностика силовых кабельных линий 1, 3 энергоблоков САЭС

Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Смоленская атомная станция"	Обследование, оценка технического состояния, остаточного ресурса, обоснование возможности продления срока службы турбогенератора ТГ-3 энергоблока №2 Смоленской АЭС
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Кольская атомная станция"	Услуги по управлению ресурсом кабельных изделий энергоблоков Кольской АЭС
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Смоленская атомная станция"	Услуги по управлению ресурсом кабельных изделий на объектах использования атомной энергии (далее - ОИАЭ): Техническое диагностирование кабельных изделий неразрушающими методами в эксплуатации для мониторинга старения кабельных изделий. Контрольные кабели 1 энергоблока Смоленской АЭС
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Смоленская атомная станция"	Обследование, оценка технического состояния, остаточного ресурса, обоснование возможности продления срока службы турбогенератора ТГ-4 энергоблока №2 Смоленской АЭС (статор ТВВ-500-2МУ3 заводской номер 18280, ротор ТВВ-500-2У3 заводской номер 17553)
ООО "Белэнергомаш-БЗЭМ"	Проведение испытаний на радиационную стойкость исходных неметаллических материалов
ООО «ЗЭСКИ»	Проведение испытаний образцов РТИ на радиационную стойкость
АО "Росатом Сервис"	Выполнение работ по обследованию, оценке технического состояния, остаточного ресурса и обоснования возможности дальнейшей эксплуатации электротехнического оборудования и кабелей энергоблока №2 Армянской АЭС
ООО «ЗЭСКИ»	Проведение испытаний образцов РТИ на радиационную стойкость
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Смоленская атомная станция"	Диагностика контрольного кабеля 3 энергоблока
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Смоленская атомная станция"	Обследование и комплексная диагностика состояния электрических машин энергоблоков 1, 3 Смоленской АЭС
Филиал АО "Концерн Росэнергоатом" "Ленинградская атомная станция"	Обследование, оценка технического состояния, обоснование остаточного ресурса и продление срока службы силовых кабелей электрического цеха энергоблока № 2 Ленинградской АЭС, остановленного для вывода из эксплуатации
АО "ВНИИАЭС"	Разработка Программ управления ресурсом и Регламентов контроля технического состояния кабельной продукции, применяемой на энергоблоках №1 6 и СХОЯТ Запорожской АЭС

В 2024 году научные проекты по тематике технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии выполнялись в рамках проектов РТТН и ЕОТП.

В 2024 году был завершен 2-х летний проект РТТН (Этапы 2023 – 2024 годов) «Проведение испытаний материалов образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС, и исследование механизмов их старения. Разработка методических рекомендаций по управлению старением кабельной продукции, ЭТО и КИПиА». Проект выполнялся в рамках реализации 3-го этапа государственного контракта от 27.04.2023 № Н.4щ.241.09.23.1074 «Разработка системы по управлению старением конструкций, систем и элементов на всех этапах жизненного цикла энергоблоков АЭС в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ», ответственный исполнитель АО «Атомэнергопроект»).

В 2024 году был завершен 2,5-х летний проект ЕОТП МТ-508 (2022 – 2024 годы) «Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА НАПРАВЛЕНИЯ

Исследование эффектов старения в полимерных конструкционных материалах, электротехнической и кабельной продукции проводят методом ускоренных испытаний. Для испытаний в полях ионизирующего излучения и при повышенных температурах в АО «НИИП» используются изотопная гамма-установка непрерывного действия ГУ-200 с кобальтовым источником и участок термокамер.



Для моделирования условий проектных аварий на объектах использования атомной энергии используется термобарокамера МТБК.

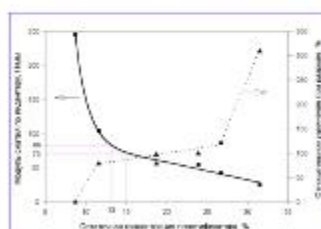
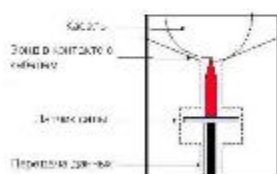


Для измерения традиционных показателей состояния – механических свойств полимерных материалов применяется универсальная деформационная машина.



Неразрушающий контроль механических показателей состояния полимерных материалов, внешних оболочек кабелей непосредственно на ОИАЭ применяется переносной кабельный индентор.

Техническое диагностирование. Кабельный индентор



- Контроль степени старения полимерных оболочек низковольтных кабелей по механическим свойствам (модулю упругости, времени релаксации)
- Механические характеристики определяются в процессе деформации оболочки металлическим зондом
- Диагностическая техника:
✓ Индентор IPAM 2 (EPRI/OGDEN)

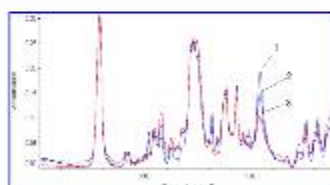
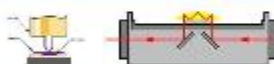
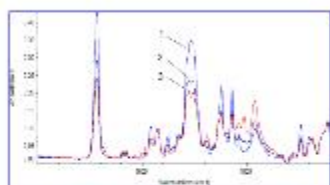
АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

18

Для диагностики состояния полимерных материалов используется ряд физико-химических методов:

- ИК-Фурье спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения;
- дифференциальная сканирующая колориметрия;
- термомеханический анализ;
- термогравиметрический анализ.

Техническое диагностирование. ИК Фурье спектроскопия полимерных материалов

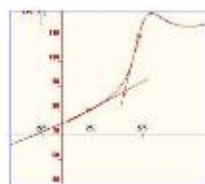
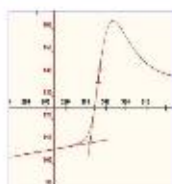


- Метод применяется для контроля степени старения различных видов кабельных полимерных материалов по интенсивности характерных полос спектра поглощения. Для работы с микрообразцами используется приставка НПВО (нарушенное полное внутреннее отражение)
- ИК Фурье спектроскопия является традиционным методом для идентификации и оценки типа полимерных изоляционных материалов
- Диагностическая техника
 - ✓ ИК спектрометр с НПВО

АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

17

Техническое диагностирование. Дифференциальная сканирующая калориметрия

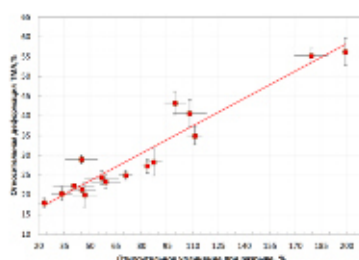
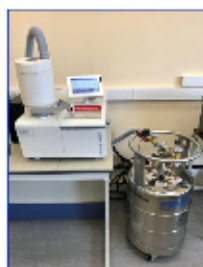


- Метод оценки степени старения полиэтиленовых изоляций /оболочек низковольтных кабелей
- Метод основан на испытании микрообразцов при повышенной температуре в ячейке дифференциального сканирующего калориметра (ДСК)
- По ТНО и ВИ косвенно определяется содержание антиоксиданта, т. е. срок службы при повышенных температурах
- Диагностическая техника:
 - ✓ Любой современный прибор ДСК

АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

18

Техническое диагностирование. Термомеханический анализ полимерных материалов



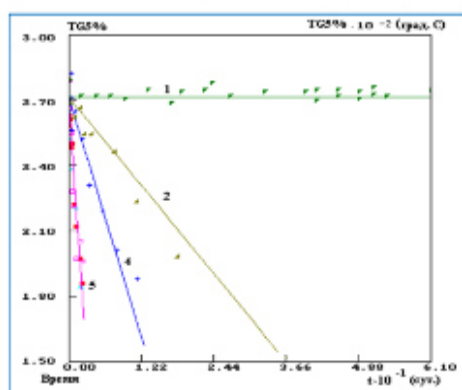
- В качестве ПС используются параметры, характеризующие изменение относительной деформации микрообразцов полимерных материалов в ячейке прибора ТМА при заданной скорости подъема температуры и давления.
- Для полимерных безгалогенных композиций используют в качестве ПС величину относительной деформации сжатия образца
- Диагностическая техника
 - ✓ Традиционный прибор для ТМА



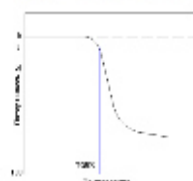
АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

19

Техническое диагностирование. Термогравиметрический анализ полимерных материалов



- Метод предназначен для оценки старения полимерных материалов при счет деградации высокомолекулярных цепей
- Показателем состояния является величина TG5%, определяемая как температура на термогравиметрической кривой (ТГ), соответствующая потере массы образца на 5%

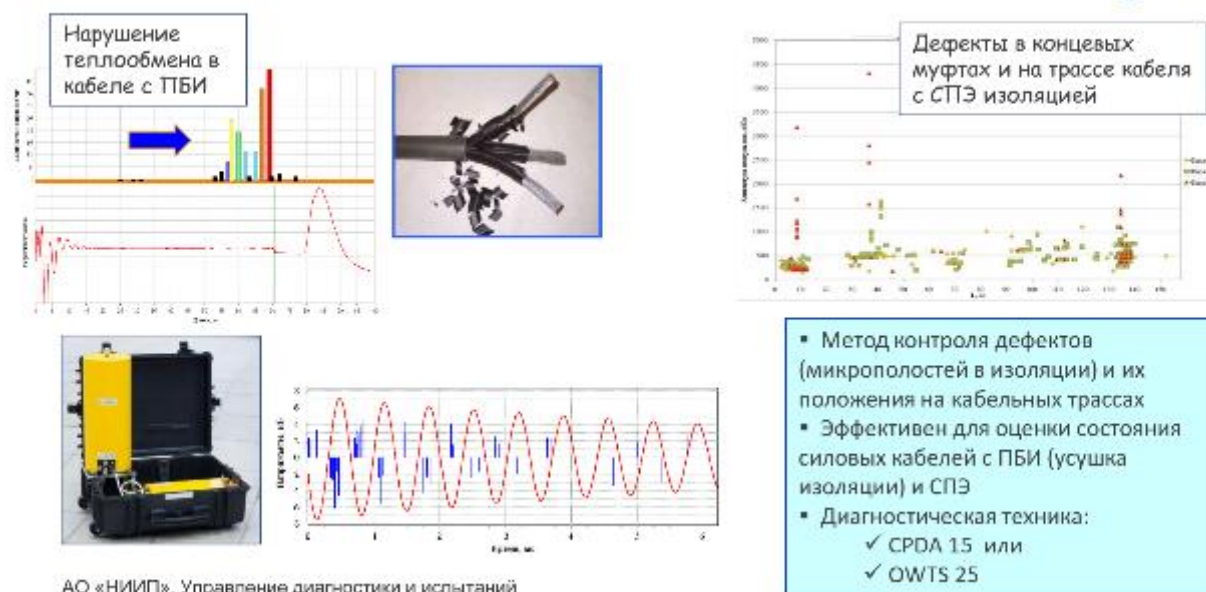


Изменение параметра $TG5\%$ в образцах из ПВХ-оболочки кабеля при разных режимах терморадикационного старения:
 1 - тепловое старение при 87°C ; 2 - $P = 0,1 \text{ Гр/с}$, $T = 25^\circ\text{C}$;
 3 - $P = 0,03 \text{ Гр/с}$, $T = 25^\circ\text{C}$; 4 и 5 - $P = 0,6 \text{ Гр/с}$, $T = 25$ и 55°C

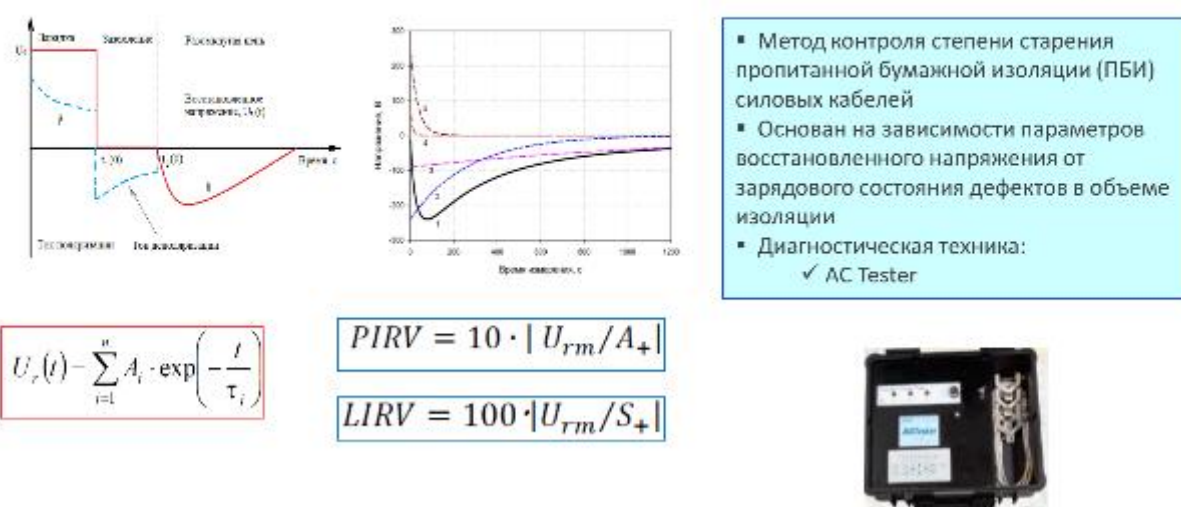
Для диагностики состояния электротехнического оборудования непосредственно на объектах использования атомной энергии используется ряд электрических методов:

- метод измерения частичных разрядов на осциллирующем затухающем напряжении;
- метод восстановленного напряжения;
- метод измерения изотермического тока релаксации;
- частотно-резонансная рефлектометрия;
- частотно-диэлектрическая спектроскопия.

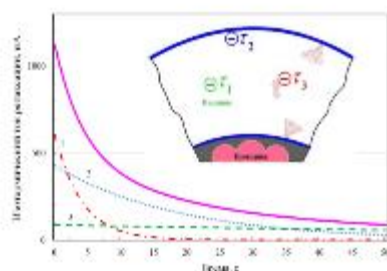
Техническое диагностирование. Контроль развивающихся дефектов в силовых кабелях методом OWTS



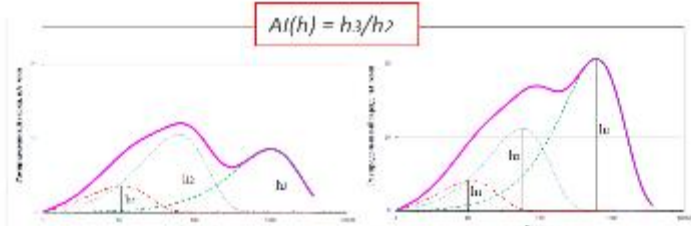
Техническое диагностирование. Оценка состояния изоляции кабеля по величине восстановленного напряжения



Техническое диагностирование. Оценка состояния изоляции кабелей по величине изотермического тока релаксации



- Метод контроля степени старения $AI(h)$ полиэтиленовой изоляции силовых кабелей
- Основан на зависимости параметров изотермического тока релаксации от зарядового состояния дефектов в объеме изоляции
- Диагностическая техника:
 - ✓ AC Tester

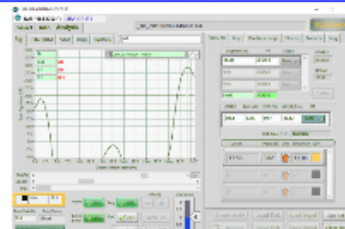


Техническое диагностирование. Частотно-резонансная рефлектометрия



LIRA - компьютеризированный частотно - резонансный рефлектометр неоднородностей кабельных линий, основанный на измерении параметров стоячих волны, генерируемых в диапазоне от 25 кГц до 100 МГц с шагом от 5 кГц до 25 кГц. Изменение параметров стоячей волны свидетельствует о наличии в данной точке трассы неоднородности

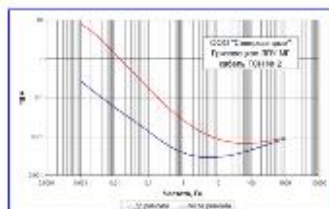
Обладает высокой чувствительностью к дефектам и неоднородностям кабельной линии. Чувствительность к емкостным дефектам составляет 5 пФ/м. Дает возможность контролировать развитие дефектов, обусловленных старением и повреждением изоляции



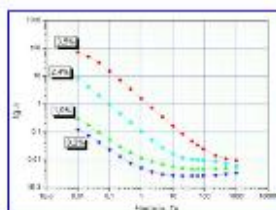
АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

25

Техническое диагностирование. Частотно-диэлектрическая спектроскопия



- Метод контроля диэлектрических потерь электрической изоляции в диапазоне от 0,001 до 1000 Гц
- В кабелях с ПБИ дает возможность оценить степень увлажнения
- Широко используется для оценки состояния изоляции электрической изоляции ЭТО
- Диагностическая техника:
 - ✓ IDA 200, IDAX 300 и 350



$$W_C = 15,3 + 2,53 \ln(tg \delta_{\min}), \%$$

Для определения «горячих» точек эксплуатации (мест с повышенным уровнем деградационных факторов) применяется набор тепловизионных и акустических камер. Тепловизор Guide C640 Pro используется для проведения тепловизионного контроля электроустановок, электродвигателей, трансформаторов и кабелей в диапазоне от -20 °С до 800 °С. Прибор Филин-6 преобразует ультрафиолетовое излучение разрядных процессов в видимое и формирует их изображение вместе с изображением контролируемого объекта на экране. Позволяет получить и зарегистрировать как мгновенную, так и изменяющуюся во времени картину месторасположения и распределения разрядов на поверхности электротехнического оборудования. Акустическая NL-камера используется для визуализации и поиска коронных и электрических разрядов на высоковольтном оборудовании при напряжениях от 3 кВ. Применяется для дистанционного обследования электротехнического оборудования такого как: изоляторы, кабели и кабельные муфты, трансформаторы, опорные изоляторы, токопроводы. Приборы Guide C640 Pro, Филин-6 и NL-камера представлены на рисунке слева направо.



Для диагностирования мощных маслонаполненных трансформаторов непосредственно на объектах использования атомной энергии применяется:

- фотоакустический спектрометр TRANSPORT X;
- частотно-диэлектрическая спектроскопия IDAX 350;
- комплекс СДК-1Т, система «Веста» (оценка усилия прессовки обмоток и сердечника трансформаторов);
- измеритель ЧР DIM-LOC;
- прибор контроля состояния контактов и соединений в РПН «ГАНИМЕД»;
- измеритель коэффициента трансформации «КОЭФФИЦИЕНТ»;
- прибор контроля состояния и оценки остаточного срока службы AC-Tester, мегомметр.

Техника для диагностирования мощных маслонаполненных трансформаторов



TRANSPORT X – фотоакустический спектрометр

Анализ растворимых газов и влаги в масле

Вещество (ppb)	Детектируемая концентрация (ppb)
Водород (H ₂)	0.1 - 1000
Углекислый газ (CO ₂)	0.1 - 1000
Метан (CH ₄)	0.1 - 1000
Ацетилен (C ₂ H ₂)	0.1 - 1000
Этилен (C ₂ H ₄)	0.1 - 1000
Пропан (C ₃ H ₈)	0.1 - 1000
Бутан (C ₄ H ₁₀)	0.1 - 1000



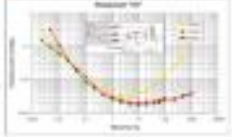
ИК спектроскопия

Определение содержания в масле антиокислительной присадки, ароматических углеводородов, продуктов старения



Частотно-диэлектрическая спектроскопия

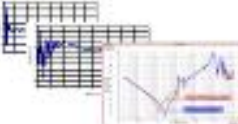
Определение содержания влаги в твердой изоляции, проводимости масла, полупроводящих отложений на обмотках и др.





Метод частотного анализа

Контроль механического состояния обмоток





Комплекс СДК-1Т, система «Веста»

Оценка усилия прессовки обмоток и сердечника трансформаторов

Научные проекты по тематике технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии

Проект РТТН «Проведение испытаний материалов образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС, и исследование механизмов их старения. Разработка методических рекомендаций по управлению старением кабельной продукции, ЭТО и КИПиА»ТН»

В 2024 году был завершен 2-х летний проект РТТН (Этапы 2023 – 2024 годов) «Проведение испытаний материалов образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС, и исследование механизмов их старения. Разработка методических рекомендаций по управлению старением кабельной продукции, ЭТО и КИПиА».

Основной целью проекта являлась разработка научно обоснованных инструментов (методов) для контроля, прогнозирования и поддержания в приемлемых пределах состояния электротехнических элементов на всех этапах жизненного цикла энергоблока атомной станции (АС) на основе исследований старения образцов представительных элементов. Другими словами, решались задачи оценки соответствия кабельной и электротехнической продукции, полимерных конструкционных материалов для атомных станций как в форме испытаний, так и в форме управления ресурсом (старением) изделий. В рамках исследований основное внимание уделялось полимерным материалам (ПМ), которые являются одним из основных конструкционных материалов для кабельной продукции (КП), электротехнического и контрольно-измерительного оборудования (далее электротехнические элементы, ЭТЭ) и все больше применяются в качестве теплоизоляционного, антикоррозионного и конструкционного материала для оборудования АС. Исследования старения промышленных ПМ и опыт эксплуатации КП и ЭТЭ на АС показывают на наличие многочисленных несоответствий их состояния требованиям безопасной эксплуатации и на наличие отказов функционирования оборудования. Рост несоответствий обусловлен как

поставками на АС продукции неустановленного качества, так и отсутствием неразрушающих методов контроля ресурсных характеристик (РХ) для части оборудования непосредственно в эксплуатации. Причинами этих несоответствий являются нарушения технологии изготовления КП и ЭТЭ, недостаточный объем данных о кинетике старения ПМ в условиях внешних воздействующих факторов (ВВФ) на АС и неэффективном инструментальном контроле за состоянием оборудования в эксплуатации.

Целью оценки соответствия является получение доказательств о возможности выполнения поставляемой продукции на АС проектных функций на всем протяжении назначенного срока службы (ресурса), в том числе, с учетом возможных проектных событий (проектных аварий, сейсмических воздействий).

Виды оборудования, подлежащих оценке соответствия – это продукция 1, 2, 3 классов безопасности; изделия 4 класса безопасности, а также компоненты такой продукции, отказ которых приводит к снижению генерации или внеплановому останову энергоблока атомной станции; изделия, включенные в перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации [IV.1]. Оценка соответствия этого оборудования для АС проводится в форме испытаний. Эти испытания еще называют первичными. Исторически сложилось, что требования к первичным испытаниям для разных видов оборудования значительно различаются. Для нового тепломеханического оборудования и связанных с ним металлических конструкционных материалов предполагается проведение аттестационных испытаний [IV.2], которые по своей сути являются исследовательскими испытаниями. Для КП и ЭТЭ предполагается проведение сертификационных испытаний, которые по своей сути являются контрольными испытаниями.

Сегодня, порядок выполнения и требования к проведению первичной аттестации КП и ЭТЭ для АС устанавливаются стандартами организаций (СТО), так как действующие государственные стандарты в этой области отсутствуют. Например, в СТО [IV.3] для образцов КП и ЭТЭ, эксплуатируемых в жестких условиях под герметичной оболочкой, последовательно моделируют степень деградации в течение периода назначенного срока службы методом искусственного старения в ускоренных испытаниях (УИ) и затем определяют стойкость состаренных образцов к ВВФ проектным авариям. Отметим, что такой подход все же частично реализован на уровне государственного стандарта ГОСТ Р 58341.5 [IV.4], предназначенного для оценки выработанного и остаточного ресурса низковольтной КП. В разделе 15 ГОСТ Р 58341.5 представлен порядок проведения УИ и испытаний на устойчивость к ВВФ проектных аварий для установления срока службы КП исходя из ее фактического состояния. Понятно, что такой же подход можно использовать для проведения первичных испытаний новой кабельной продукции.

Отметим, что в настоящее время поставка на АС продукции неустановленного качества проводится без указания в сопровождающих технических документах показателей состояния (ПС) и ресурсных характеристик (РХ), которые необходимы для разработки, внедрения и выполнения программы управления ресурсом (ПУР) на АС. Примеры таких несоответствий: заниженная концентрация антиоксидантов в кабельной изоляции, неравномерное

распределение примесей во внешней оболочке контрольных кабелей, применение внешних оболочек контрольных кабелей не стойких к растрескиванию, применение некачественных трубок выравнивания электрического поля в концевых муфтах силовых кабелей, применение ПМ для изготовления электрической изоляции ЭТО с неустановленным температурным индексом по механическим свойствам.

Наличие указанных выше выявленных несоответствий необходимо уменьшить, в том числе, изменив порядок проведения оценки соответствия как в форме испытаний при разработке и поставке на АС, так и в форме выполнения программ управления ресурсом (ПУР). Эти изменения должны быть основаны на знаниях механизмов старения ПМ и влиянии эффектов старения на стойкость КП и ЭТЭ к внешним воздействующим факторам на АС. Основные знания о кинетике старения ПМ можно получить только в рамках исследовательских испытаний. Как правило эти испытания представляют собой ускоренные испытания целью которых является установить ПС и РХ.

Искусственное старение и выбор параметров ускоренных испытаний

Практический опыт и исследования старения показали, что в УИ, как правило, не реализуются естественные для эксплуатации механизмы старения ПМ. По этой причине их результаты не могут быть использованы для долговременного прогнозирования срока службы (ресурса). Одна из основных причин получения неопределенных прогнозных значений срока службы обусловлена постулированием того, что кинетика старения – это одностадийный процесс, который может быть описан уравнением Аррениуса.

В рамках выполнения проекта было установлено, что для большинства низковольтных (не более 1000 В) кабельных ПМ на основе полиолефинов и этиленвинилацетата (ЭВА) кроме специфических механизмов старения, определяемых их составом и строением, реализуются следующие стадии старения при повышенной температуре и наличии кислорода воздуха [IV.5]

$$\begin{cases} OYP = c_1 S_1 + c_2 S_2 + c_3 S_3 \\ S_1 = \exp(-k_1 t), \quad S_2 = \exp(-k_2 t), \quad S_3 = \exp[-(k_3 t)^n], \end{cases} \quad (IV.1)$$

где ОУР – относительное удлинение при разрыве образца (ОУР является общепринятым ПС состояния низковольтных кабелей); c_1 , c_2 и c_3 – весовые коэффициенты; t – время.

Первая стадия S_1 – это процесс досшивания ПМ, который часто наблюдается на начальном этапе. Вторая стадия S_2 – это ингибированное окисление, лимитированное антиоксидантом. Третья стадия S_3 – это не ингибированное окисление. Константы скорости процесса k_i ($i=1,2,3$) подчиняются закону Аррениуса

$$k_i = b_i \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right) \quad (IV.2)$$

где b_i – это предэкспоненциальный фактор, E_i – это энергия активации процесса, k – постоянная Больцмана. На рис. IV.1 представлены результаты моделирования экспериментальных данных по модели (IV.2) для эластомера на основе ЭВА, который был использован в качестве внешней кабельной оболочки [IV.5].

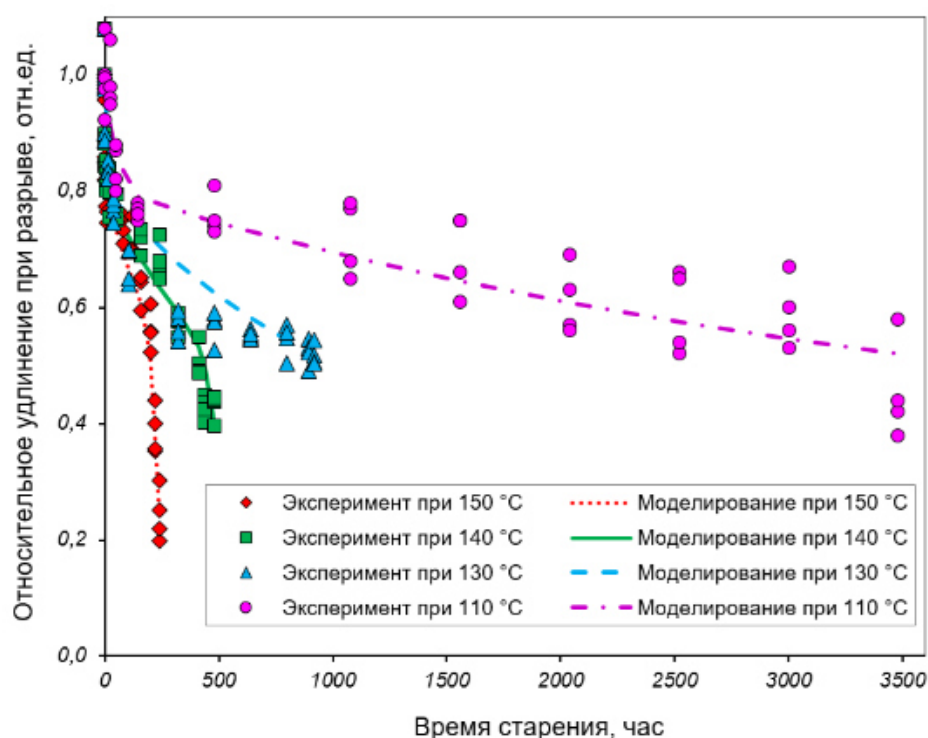


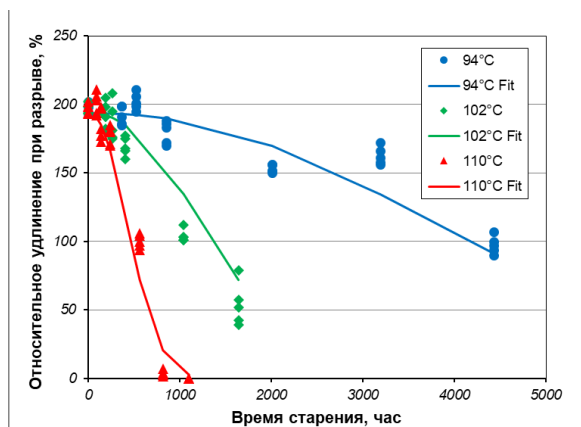
Рис. IV.1. ОУР внешней оболочки кабеля типа КСнг(А)-HF, изготовленной из полимерной композиции на основе этиленвинилацетата, в зависимости от температуры искусственного старения

Для определения параметров полуэмпирической модели (IV.1) в испытаниях проводили старение не менее чем при четырех температурах.

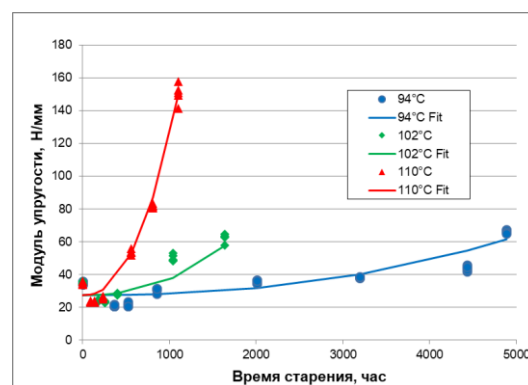
На рис. IV.2 представлены типичные полученные результаты старения образцов кабельного ПВХ пластиката, предназначенного для изготовления внешних оболочек кабелей. В процессе проведения УИ одновременно проводили измерения как ОУР (рис.2а), так и модуля упругости при индентировании (МУИ) (рис. IV.2б), это дает возможность сразу получить данные для разработки методики неразрушающего контроля по величине МУИ. При проведении регрессионного анализа экспериментальных данных ОУР использовали модель

$$OUP = OUP(0) \cdot \exp[-(k \cdot t)^n], \quad (IV.3)$$

где $OUP(0)$ – начальное значение ОУР, n – эмпирический коэффициент, k – определяется уравнением (IV.2). На рис. IV.3 представлены результаты прогнозирования срока службы двух партий кабельных ПВХ пластикатов. Первая партия представляет собой образцы базовые марки ПВХ пластиката, содержащие стандартную систему стабилизации, вторая – базовая марка с добавкой 0,5% первичного антиоксиданта (АО) фенольного типа.



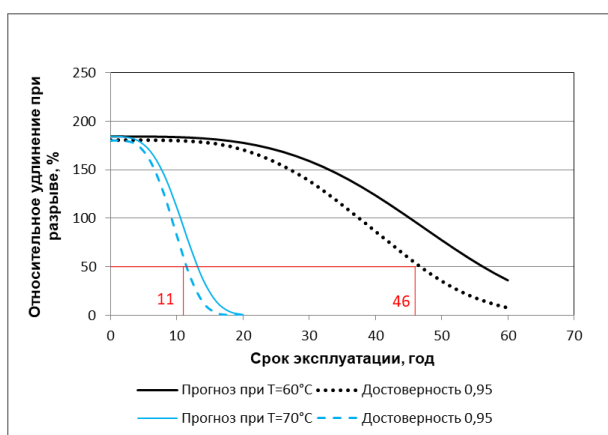
а)



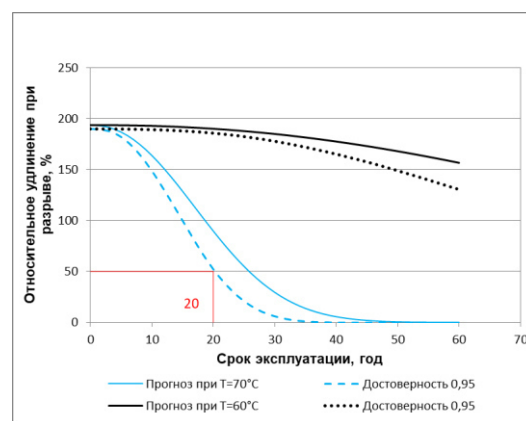
б)

Рис. IV.2. Старение модельных образцов кабельных ПВХ пластикутов; а – изменение ОУР, б – изменение модуля упругости при индентировании

Оценки срока службы по величине ОУР по модели (IV.3) показали, что добавка АО существенно меняет срок службы (ресурс) кабельного ПВХ пластикута. Для первой партии срок эксплуатации по величине ОУР до предельной величины $OУР_{ПР} = 50\%$ составил 11 лет на уровне достоверности 0,95 при температуре эксплуатации $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, для второй партии – 20 лет. При максимальной проектной окружающей температуре в помещениях АС равной $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ срок службы для первой партии составил 46 лет, а для второй партии он превышает проектный срок эксплуатации новых энергоблоков, равный 60 годам.



а)



б)

Рис. IV.3. Прогнозирование состояния модельных образцов кабельных ПВХ пластикутов по величине относительного удлинения при разрыве; а – базовая марка, б – базовая марка с добавкой 0,5% антиоксиданта фенольного типа

Таким образом, соблюдение заводами рецептуры для изготовления кабельных ПМ является одним из основных требований, определяющих заданный ресурс кабелей.

В исследовательских испытаниях было также выявлено еще одно не редко встречающееся технологическое нарушение, влияющее на ресурс низковольтных кабелей. На кинетику старения сильное влияние оказывает содержание минеральных примесей, которые вводятся в современные кабельные оболочечные рецептуры для обеспечения требований по нераспространению горения и огнестойкости, их содержание может достигать до 20% по массе. На рис. IV.4 представлены результаты моделирования деградации образцов, изготовленных из внешней кабельной оболочки кабеля марки КВВГЭ нг-FRLS 37×1,5 по показателю ОУР.

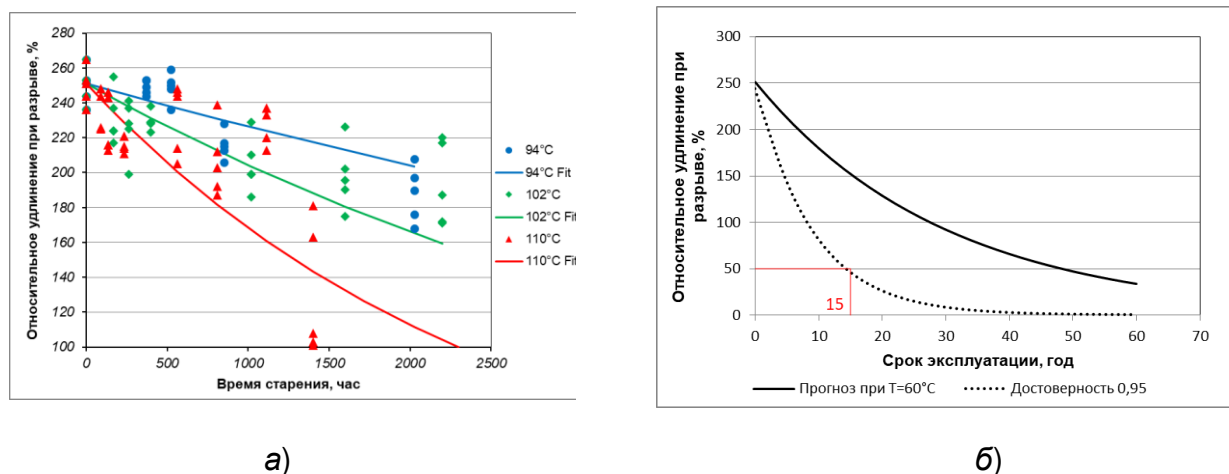


Рис. IV.4. Результаты моделирования деградации образцов, изготовленных из внешней кабельной оболочки кабеля марки КВВГЭ нг-FRLS 37×1,5; а – изменение ОУР во время старения, б – прогнозирование ОУР при температуре эксплуатации 60°C

При проведении измерений был получен большой разброс величин ОУР, и соответственно, погрешность прогноза оказалась тоже велика. При температуре эксплуатации 60 °C срок службы при уровне достоверности 0,95 составил 15 лет, при этом ожидаемый срок службы оказался равным 48 годам. Причина этого является большая неравномерность содержания минеральных добавок по объему полимерной внешней оболочки. В ходе старения мы получили визуальное подтверждение этому.

На рис. IV.5 представлены фотографии с выходом минеральных наполнителей на поверхность внешней оболочки образцов кабеля марки КВВГЭ нг-FRLS 37×1,5 в ходе старения.

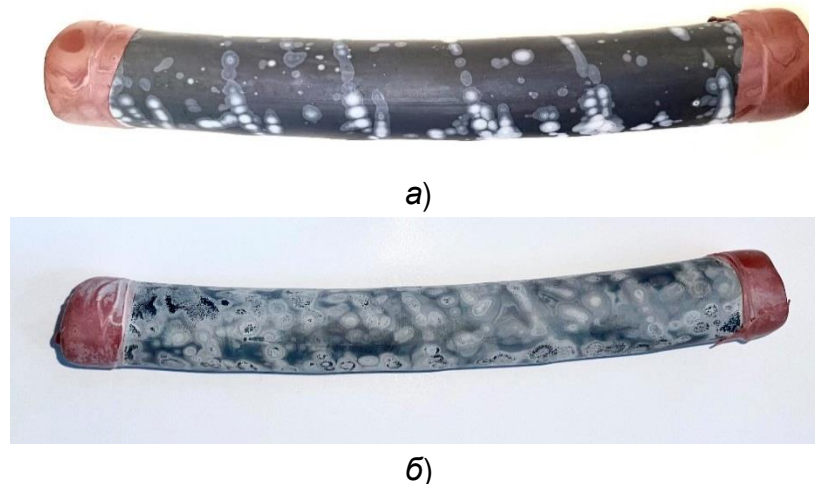


Рис. IV.5. Выход минеральных наполнителей на поверхность внешней оболочки образцов кабеля марки КВВГЭ нг-FRLS 37×1,5 в ходе старения; а – старение при температуре 110 °С в течении 1714 часов; б – старение при температуре 110 °С в течении 2830 часов

Часть низковольтных кабелей и ЭТЭ в процессе эксплуатации под герметичной оболочкой подвергаются воздействию низкоинтенсивной радиации и по проекту должны выдержать ВВФ проектных аварий даже в конце назначенного срока службы. ВВФ максимальных проектных аварий представляют собой высокоинтенсивное ионизирующее излучение, парогазовую высокотемпературную смесь, химическое воздействие дезактивационных растворов и повышенную температуру на заключительном этапе.

В УИ для моделирования радиационного старения использовали уравнение

$$\begin{cases} OUP = OUP(0) \cdot \exp(-r \cdot t) \\ r = b \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{k \cdot T}\right) \cdot P^n, \end{cases} \quad (IV.3)$$

где P – мощность поглощенной дозы, r – константа скорости процесса.

Для получения параметров уравнения (IV.3) обычно проводят УИ при трех мощностях поглощенных доз, трех температурах облучения при одной мощности дозы. Максимальная мощность дозы в испытаниях не должна превышать 500 Гр/час (0,15 Гр/с) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58341.5 [IV.4].. Полученные в проекте экспериментальные данные для наиболее распространенных сегодня кабельных ПМ – композиций на основе этиленвинилацетата (ЭВА) показали отсутствие существенного влияния мощности дозы и температуры облучения на эффекты радиационного старения по такому ПС как ОУР при выполнении требований к УИ, указанных выше. Стойкость к низкоинтенсивной радиации, как и в случае теплового старения, определяется содержанием и типом стабилизаторов для каждого вида ПМ.

Исследовательские испытания полиэтилентерефталатной электротехнической пленки

Полиэтилентерефталатная пленка марки ПЭТ-Э по ГОСТ 24234-80 [IV.6] широко применяется в качестве основного материала для изготовления электрической изоляции в ЭТЭ. Например, она применяется в сухих силовых трансформаторах и измерительных трансформаторах напряжения с литой изоляцией класса напряжения 10 кВ для изолирования отдельных витков, слоев и катушек обмоток. Данные трансформаторы используются в системах важных для безопасности. К сожалению, в эксплуатации фиксируются отказы этих трансформаторов. Для установления причин этих отказов были проведены исследовательские испытания: тепловое старение пленка марки ПЭТ-Э 35×110. Температуры старения в УИ были 150, 170 и 190 °С.

В процессе старения пленка теряет свою упругость. Изменение других характеристик происходит на уровне разброса экспериментальных данных, в том числе, и для электрической прочности. Отметим, что после периода старения, который разный для каждой температуры старения, ОУР падает достаточно резко (см. рис. IV.6). Такой вид старения обычно характерен при снижении концентрации стабилизатора до критического значения и последующего цепного окисления матрицы полимера.

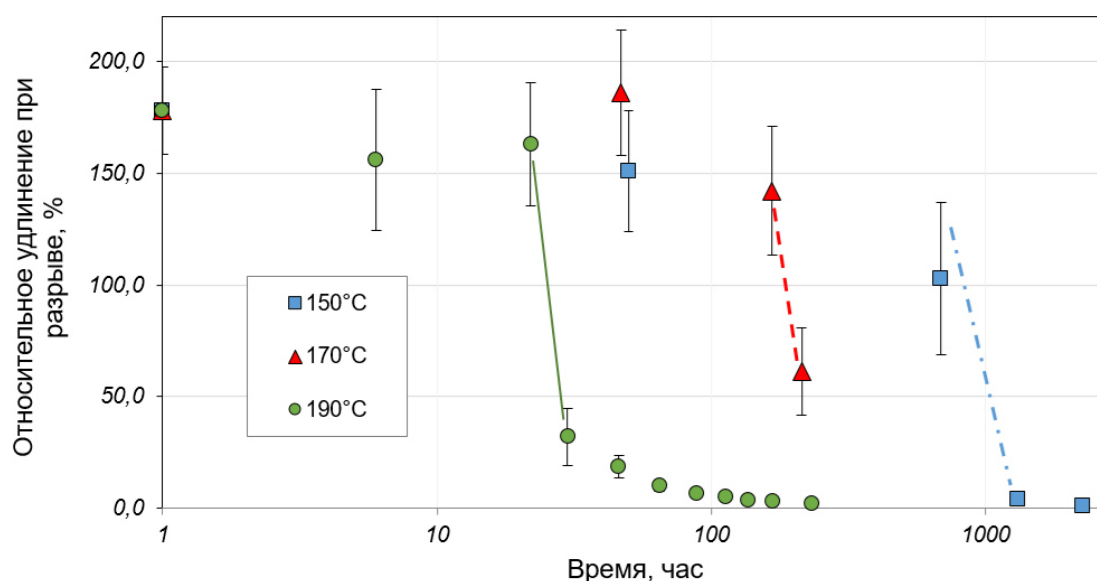


Рис. IV.6. Изменение относительного удлинения в процессе ускоренного теплового старения при температуре 150, 170 и 190 °С

По изменению механической прочности температурный индекс пленки можно оценить на уровне не более 130 °С (обычно, при проектировании трансформаторов принимают, что он составляет 155 °С по электрическим свойствам). Таким образом, в изоляционной системе на основе эпоксидного компаунда и пленки ПЭТ-Э, используемой в сухих силовых трансформаторах и измерительных трансформаторах напряжения с литой изоляцией классов напряжения 10 кВ,

наиболее слабым звеном, определяющим ресурсные характеристики и срок службы электротехнического оборудования в целом, является пленка ПЭТ-Э.

Из полученных результатов следует, что в условиях эксплуатации в результате термического старения пленки ПЭТ-Э можно ожидать снижение ее механических характеристик и охрупчивание, что при механических воздействиях и температурных расширениях (при перепадах температур) может привести к нарушению целостности внутренней изоляции обмоток ВН с литой изоляцией силовых трансформаторов и стать причиной их повреждения. Другими словами, если режимы эксплуатации оборудования системы, элементом которой является трансформатор, предполагают функционирование трансформатора при повышенной мощности, периодическом отключении и включении, то вероятность отказа трансформатора увеличивается значительно.

Оценка соответствия оборудования в эксплуатации

Для КП и ЭТЭ, прошедших первичную аттестацию в рамках первичных испытаний, возможна переаттестация их состояния непосредственно в эксплуатации рамках ПУР по их фактическому состоянию. Принцип переаттестации представлен на рис. IV.7 [IV.7]. Он заключается в периодическом техническом контроле состояния кабельных ПМ (на рис. IV.7 отмечены моменты контроль состояния t_1, t_2, t_3).

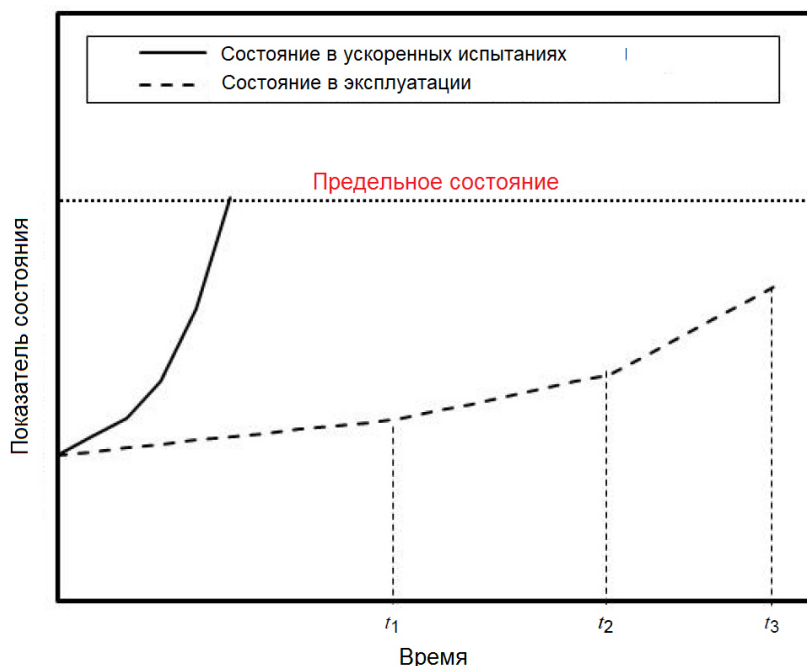


Рис. IV.7. Сравнение траекторий старения кабельных изделий в ускоренных испытаниях и в эксплуатации

Для проведения такой переаттестации необходимо, чтобы оценка состояния осуществлялась по тем же ПС, что и при проведении первичной аттестации. При использовании иных ПС необходимо заранее установить корреляционную зависимость между традиционным и новым ПС. Для реализации этого подхода в рамках проекта были подготовлены методические рекомендации (МР).

Методические рекомендации

«Управление старением кабельной продукции, электротехническим оборудованием и контрольно-измерительных приборов и автоматики. Порядок проведения. Атомные станции». Разработанные МР определяют порядок выполнения работ по управлению старением электротехнической и кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики (далее – электротехнические элементы, ЭТЭ) в условиях эксплуатации на атомных станциях в форме испытаний и технического диагностирования. Результаты испытаний и диагностирования являются основным источником наполнения информационной системы управления старением. МР распространяются на этапы конструирования и изготовления ЭТЭ для АС, этапы поставки и эксплуатации ЭТЭ, как специально разработанного для АС, так и общепромышленного оборудования, сертифицированного для АС.

Важными аспектами управлением старением в настоящих МР являются указанные ниже положения.

Во-первых, постулирование того факта, что значительная деградация ЭТЭ может быть вызвана старением под воздействием внешних факторов окружающей среды в течении срока службы. Это означает, что ЭТЭ систем безопасности и важных для безопасности будут находиться в состоянии деградации до воздействия повреждающих факторов проектных событий. Период времени от начала эксплуатации до проектного события (аварии, землетрясение) для которого определено, что состояние оборудования соответствует проектным требованиям и способно выполнять свои функций во время нормальной эксплуатации, во время и после проектного события, является аттестованным сроком службы. Такой подход позволяет получить и предоставить экспериментальные данные для доказательства возможности продления срока эксплуатации оборудования при подтверждении, что это оборудование аттестовано и продолжает оставаться в работоспособном состоянии.

Во-вторых, аттестация ЭТЭ на основе фактического состояния. Основную роль здесь играют показатели состояния (ПС). Они либо напрямую связаны с работоспособностью ЭТЭ, либо напрямую связаны со степенью старения их конструкционных и электроизоляционных материалов и указывают на неблагоприятные изменения технического состояния. Аттестация на основе состояния выполняется непосредственно в эксплуатации на основе периодического контроля значений ПС преимущественно неразрушающими методами контроля. Определение начальных, предельных значений ПС и траектории старения проводят заранее в рамках дополнительных испытаний. Целесообразно параметры ПС определять непосредственно при проведении исследовательских испытаний и при проведении первичной аттестации ЭТЭ.

В-третьих, применение индексов технического обслуживания (ИТО) для контроля и управления старением общепромышленного оборудования, конструкция которых состоит из отдельных функциональных узлов и компонент. Такой подход позволяет устранить недостатки системы планово-предупредительного обслуживания при переходе к обслуживанию электротехнического оборудования по его фактическому состоянию.

Проект ЕОТП МТ-508 «Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей»

В 2024 году был завершен проект ЕОТП МТ-508 «Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей».

Целью проекта являлось определение доминирующих механизмов старения, разработка методов технического диагностирования и контроля состояния и методологии управления старением судовых кабелей. Для достижения цели НИР последовательно решались следующие задачи: 1) проведение искусственного старения образцов судовых кабелей; 2) определение стойкости состаренных образцов судовых кабелей к типичным внешним воздействующим факторам (ВВФ) в эксплуатации; 3) разработка технических документов для диагностирования состояния и управления старением судовых кабелей.

В ходе УИ были установлены механизмы старения низковольтных судовых кабельных изделий, определены наиболее эффективные физико-химические свойства для контроля их состояния, для использования их в качестве показателей состояния (ПС), определить их начальные и предельные значения, разработали модели прогнозирования состояния судовых низковольтных кабельных изделий по таким ПС как относительное удлинение при разрыве (ОУР) и модулю упругости по индентированию (МУИ).

Для силовых кабелей напряжением 10 кВ в рамках решалась задача исследования зарождающихся дефектов в этиленпропиленовой изоляции на полномасштабном образце длиной около 60 м. Моделировали дефект изоляции в середине образца на участке размером 1 м при повышенной температуре 130 °С и 140 °С. Контроль за развитием дефекта проводили электрическими методами. Для изучения дефектообразования изоляции физико-химическими методами использовали образец свидетель, от изоляции которого периодически отрезали необходимого размера образцы для исследования старения.

На последнем этапе исследований определяли влияние однократно или периодических ВВФ на состояние уже состаренных низковольтных кабелей. Для судовых кабелей к таким ВВФ отнесли: соленую воду, технические масла, нефтепродукты, пониженные температуры. Для судовых кабелей плавучих АЭС и атомных ледоколов такими факторами являются ВВФ проектных аварий. Выбор образцов типов кабелей для испытаний на стойкость к однократно или периодических ВВФ проводили исходя из их функционального назначения. Обеспечивали предварительное искусственное тепловое старение представительных образцов низковольтных кабелей на заданную глубину старения для определения стойкости к типичным для судовых кабелей ВВФ в эксплуатации с использованием уже разработанных на первом этапе работ 2023 года моделей старения. Глубина старения выбирается в диапазоне 50-80% от предельной, для которой постулируется потеря работоспособности.

В рамках исследований стойкости предварительно состаренных образцов низковольтных кабелей было установлено:

1) старение кабелей КМПВнг-LS 10×1,5 с внешними оболочками из ПВХ пластика существенно влияет на стойкость к воздействию технических масел. Испытания показали снижение ОУР внешней оболочки кабелей ниже предельного уровня предварительно состаренных на глубину старения 50% и 80% образцов кабелей. Кабели типа КМПВнг-LS не являются стойкими к воздействию нефтепродуктов и не должны применяться в зоне, возможного разлива различных видов нефтепродуктов;

2) старение кабелей КМПВнг-LS 10×1,5 с внешними оболочками из ПВХ пластика не влияет на стойкость к воздействию соляного раствора. Зафиксировали небольшое увеличение ОУР после старения образцов кабелей на глубину 80%;

3) старение кабелей КМПВнг-LS 10×1,5 с внешними оболочками из ПВХ пластика не влияет на стойкость к воздействию низких температур. Измерение температуры стеклования материала внешней ПВХ оболочки кабеля КМПВнг-LS 10×1,5 методом ТМА показал стабильность вязкоупругих свойств до температуры - 80 °С при всех уровнях предварительного старения.

4) кабель КНР 10×1,5 с внешними оболочками из маслостойкой резина на основе полихлоропрена обладает стойкостью к периодическому воздействию нефтепродуктов (технических масел) после предварительного старения. При степени старения 80% после воздействия масла резко падают релаксационные свойства внешней полимерной оболочки по времени релаксации, измеряемой кабельным индентором, но основной показатель старения - ОУР остается в приемлемых для эксплуатации пределах;

5) соленая вода слабо влияет на механические свойства внешней оболочки кабеля КНР 10×1,5 с внешними оболочками из маслостойкой резина на основе полихлоропрена после старения. Предварительное старение до 80% привело к небольшому уменьшению ОУР оболочки после воздействия соленой воды по сравнению с несостаренным образцом;

6) при испытании кабеля КНР 10×1,5 с внешними оболочками из маслостойкой резина на основе полихлоропрена на воздействие низкой температуры наблюдается небольшое смещение, примерно на 5 °С, диапазона температуры стеклования в положительную область. Диапазон температур стеклования сместился с диапазона от - (28 ÷ 38) °С до диапазона - (22 ÷ 32) °С при старении на глубину 80%, таким образом, глубокое старение уменьшает рабочий диапазон температур кабеля в области отрицательных температур примерно на 5 °С;

7) кабель НРШМнг-НФ 10×1,5 с внешними оболочками из маслостойкой резины на основе полихлоропрена нг-НФ обладает хорошей стойкостью к воздействию нефтепродуктов, более того, все механические свойства внешней оболочки только улучшились, это касается как ОУР, так и модуля упругости и времени релаксации при индентировании. Данное «улучшение» механических свойств, по-видимому, обусловлено проникновением масла в поры резины и ее дальнейшим размягчением. Процесс набухания может вызывать десорбцию других

компонентов резины, таких как диоксид кремния, мел, карбонат кальция и других минеральных добавок или стабилизаторов, что в свою очередь приведет к снижению долговечности материала при периодических механических нагрузках и последующей эксплуатации при повышенной температуре;

8) кабель НРШМнг-НФ 10×1,5 с внешними оболочками из маслостойкой резины на основе полихлоропрена нг-НФ устойчив к воздействию морской воды. Солёная вода слабо влияет на ОУР и модуль упругости, подтверждая стойкость материала внешней оболочки к морской воде. Наблюдается улучшение механических свойств для состаренных образцов после воздействия морской воды, аналогично как при воздействии технического масла;

9) анализ данных показывает, что материал оболочки кабеля НРШМнг-НФ 10×1,5 с внешними оболочками из маслостойкой резины на основе полихлоропрена нг-НФ сохраняет стабильность своих вязкоупругих свойств при старении до уровня 50%. Однако, при старении до 80% наблюдается значительное ухудшение этих свойств, температурный диапазона стеклования смещается примерно на 10 °С в более высокотемпературную область (от -10 до -21 °С), т.е. глубокое старение уменьшает рабочий диапазон температур кабеля в области отрицательных температур примерно на 10 °С.

10) кабель НРШМ 3×50 обладает высокой стойкостью к воздействию нефтепродуктов, в том числе, технических масел. Относительное удлинение при разрыве и модуль упругости материала оболочки остаются стабильными даже после старения на глубину до 50%. При старении на 80% отмечаются небольшие изменения, но общая стойкость сохраняется;

11) материал оболочки кабеля НРШМ 3×50 устойчив к воздействию солёной воды независимо от степени старения образцов. Это подтверждается сохранением механических свойств материала;

12) кабель НРШМ 3×50 обладает приемлемой стойкостью к пониженным температурам. Однако, стоит отметить, что старение до 80%, вызвало смещение диапазона температуры стеклования в область более низких температур примерно на 10°С, по-видимому, это связано с пространственной сшивкой материала оболочки в процессе старения;

Для предварительно состаренных кабелей СПОВнг-БГО 12×1,5 и СПОВнг-FRHF 5×1,5 при оценках стойкости к ВВФ проектных аварий (высокотемпературная парогазовая смесь в реакторном отделении судов с ядерными установками) установлено, что:

1) для всех предварительно состаренных образцов измеренные значения сопротивление изоляции на один метр длины после испытаний существенно не изменились и находились значительно выше предельного значения, равного 4 ГОм;

2) значения сопротивления изоляции на один метр длины всех предварительно состаренных образцов во время воздействия высокотемпературной парогазовой смеси находились значительно выше предельного значения 10 МОм. Следовательно, кабели СПОВнг-БГО 12×1,5 и СПОВнг-FRHF 5×1,5 устойчивы к ВВФ проектных аварий в реакторном отделении судов с ядерными установками и сохраняют работоспособность на протяжении всего времени существования режима;

3) анализ изменения величины температуры окислительной индукции (ТОИ) для внешней оболочки кабеля СПОВнг-БГО 12×1,5 на разных стадиях старения и испытания на стойкость к ВВФ показал о достижении предельного значения антиоксиданта на второй стадии старения (радиационное старение при 47,3 кГр). Последующее увеличение ТОИ в испытаниях обусловлено процессами, связанными с другими тепловыми эффектами, по-видимому, с образованием пространственной сетки в процессе воздействия ВВФ. Это подтверждается уменьшением модуля упругости при индентировании, т.е. материал оболочки становится на этом этапе даже более эластичным;

4) значения величин ОУР для внешней оболочки кабеля СПОВнг-БГО 12×1,5 практически не меняется в пределах погрешности после испытаний состаренных до степени старения II и степени старения III (радиационное старение при 75,5 кГр) образцов, небольшое уменьшение ОУР на этапе низкой степени старения I, по-видимому, связано с релаксационными процессами в полимере. Вместе с тем следует отметить, что во время испытаний деградация полимерной оболочки уже носила неингибированный характер, т.е. не лимитировалась антиоксидантом;

5) концентрация антиоксиданта в образцах кабеля СПОВнг-FRHF 5×1,5 значительно выше, чем в образцах кабеля СПОВнг-БГО 12×1,5 судя по величине ТОИ. Все процессы деградации оболочки кабеля СПОВнг-FRHF 5×1,5 на всех этапах старения и испытаний носят ингибированный характер, т.е. скорость деградации лимитируется антиоксидантом. Именно по этой причине мы наблюдаем высокую устойчивость кабеля СПОВнг-FRHF 5×1,5 к ВВФ проектных аварий после заданных уровней старения, механические свойства внешней оболочки существенных при этом не меняются.

В рамках исследования развития зарождающихся дефектов в силовых кабелях среднего напряжения и определения эффективных методов контроля состояния этих кабелей было определено, что развитие термического дефекта в ЭПР изоляции силового кабеля без доступа кислорода воздуха можно разделить на два этапа:

- первый этап – это длительный период времени, в процессе которого происходит разрушение антиоксиданта, разрушение высокомолекулярных цепей полимерной изоляции, разупорядочение и структурирование областей в месте формирования дефекта без образования микропор. Этот этап заканчивается при достижении антиоксидантом предельной концентрации. Предельная концентрация характеризуется ТОИ равная в нашем случае 212°C. На данном этапе наблюдаются небольшие изменения в электрических параметрах кабеля, например, восстановленного напряжения, тангенса угла диэлектрических потерь. Их величины увеличиваются и достигают насыщения при достижении ТОИ величины, соответствующей предельной концентрации антиоксиданта.

- второй этап – это сильная деградация изоляционного полимерного материала. Она сопровождается появлением микропор, появлением частичных разрядов (ЧР), которые в свою очередь сами становятся причиной дальнейшего разрушения изоляции. На этом этапе самым чувствительным методом контроля состояния кабеля является метод OWTS.

На основании полученных в рамках проекта МТ-508 результатов исследования были разработаны стандарты организации: 1) СТО 08624450-98-2024 «Управление старением судовых кабелей. Положение», 2) СТО 08624450-100-2024 «Техническое диагностирование и прогнозирование срока службы низковольтных судовых кабелей», 3) СТО 08624450-99-2024 «Техническое диагностирование и оценка состояния судовых кабелей среднего напряжения».

Список литературы к разделу IV

- [VI.1] НП-071-18 Правила оценки соответствия продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов её проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения.
- [VI.2] ГОСТ Р 50.04.01-2018 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме испытаний. Аттестационные испытания. Общие положения.
- [VI.3] СТО 08624450-92-2023 Объекты использования атомной энергии. Аттестация электротехнического оборудования и кабельных изделий в форме испытаний. Порядок проведения.
- [VI.4] ГОСТ Р 58341.5-2020 Кабельные изделия для атомных станций. Учет фактически выработанного и оценка остаточного ресурса.
- [VI.5] Д.И. Болотина, А.И. Кононенко, А.Л. Померанцев, А.Г. Циканин Моделирование теплового старения кабельной полимерной композиции на основе этиленвинилацетата // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2023. №6. С.30-37. DOI: 10.31044/1994-6260-2023-0-6-30-37.
- [VI.6] ГОСТ 24234–80 Пленка. Технические условия.
- [VI.7] IEC/IEEE 62582-1 Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Electrical equipment condition monitoring methods – Part 1: General.

V. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

АО «НИИП» на сегодняшний день является единственным промышленным производителем кремния в России с использованием метода бестигельной зонной плавки (БЗП), в том числе нейтронно-легированного (NTD) кремния.

АО «НИИП» производит различные марки кремния, в том числе высокоомные со следующими характеристиками:

- кристаллографическая ориентация $\langle 111 \rangle$, $\langle 100 \rangle$;
- концентрация оптически активного кислорода не более $2,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$;
- диаметр слитка – от 40 до 125 мм;
- длина слитка – от 300 до 1000 мм;
- диапазон удельного электрического сопротивления – 40-800 Ом·см.

Одним из основных событий в 2024 году стало заключение Государственного контракта с Минпромторгом Российской Федерации на выполнение ОКР «Вектор-150» на разработку технологий изготовления и организацию производств слитков и полированных пластин нейтронно-транспмутационно легированного монокристаллического кремния диаметром 150 мм. Реализация вышеуказанной ОКР позволит значительно расширить номенклатуру кремниевой продукции, производимой в АО "НИИП".

В 2024 году был завершен первый этап Государственного контракта с Минпромторгом Российской Федерации на выполнение ОКР «Разработка установки выращивания бесдислокационных монокристаллов Si, в том числе высокоомного, методом бестигельной зонной плавки кристаллического стержня с использованием индукционного источника плавки», шифр «Сфера». Целью выполнения данной ОКР является разработка конструкторской документации с литерой «О1» и изготовление опытного образца установки выращивания монокристаллов кремния, в том числе высокоомного, диаметром не менее 86 мм методом БЗП с использованием индукционного источника плавки. В рамках первого этапа ОКР была разработана конструкторская документация в объеме технического проекта опытного образца индукционного плавильного комплекса и конструкторская документация в объеме технического проекта опытного образца установки БЗП.

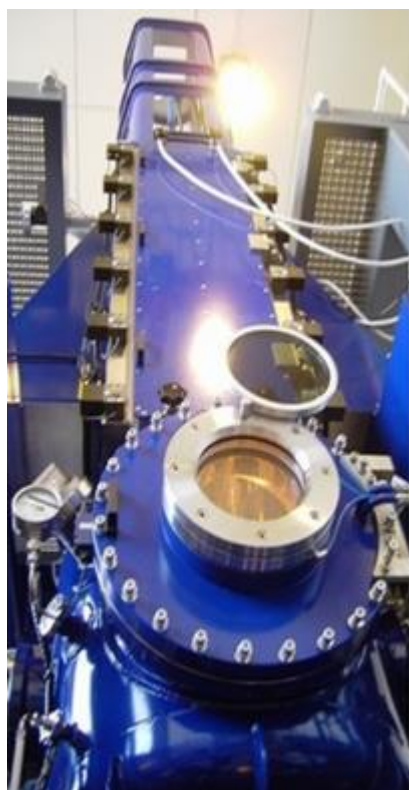


Рис. V.1. Фотографии, иллюстрирующие процесс выращивания слитков монокристаллического кремния методом БЗП

VI. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. НОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Проект ЕОТП МТ-751 «Разработка технологии проектирования и изготовления датчиков угловых скоростей на основе волнового твердотельного гироскопа с металлическим резонатором»

Целью проекта ЕОТП МТ-751 является разработка технологии проектирования и изготовления датчика угловых скоростей (ДУС) на основе волнового твердотельного гироскопа (ВТГ) с металлическим резонатором и проектирование и изготовление опытного образца ДУС со значением дрейфа нуля не более 1 град/час. В 2024 году был выполнен первый этап проекта ЕОТП МТ-751.

В рамках первого этапа проекта ЕОТП МТ-751 решалась задача разработки технологии проектирования ДУС с учетом требований к объекту эксплуатации и области применения, включая диапазоны рабочих угловых скоростей и требуемые значения погрешностей. Был разработан и изготовлен образец ДУС в составе электронного блока управления и чувствительного элемента без установки в корпус. Проведены работы по исследованию характеристик образца. Были разработаны методики контроля параметров ДУС и программа испытаний образцов ДУС, создано несколько стендов для обеспечения выполнения технологического процесса изготовления ДУС на базе АО «НИИП». С помощью изготовленного образца ДУС проведены исследования влияния температуры на характеристики ДУС.

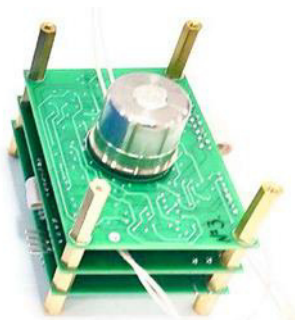


Рис. VI.1. Фотография образца датчика угловых скоростей

НИОКР «Создание экспериментального образца портативного анализатора спектра (ПАС)»

Целью НИОКР «Создание экспериментального образца портативного анализатора спектра (ПАС)» является разработка и изготовление экспериментального образца многоканального аппаратно-программного модуля портативного анализатора спектра в частотном диапазоне 400-7000 МГц, предназначенного для измерения и визуализации распределения энергии электромагнитных колебаний (сигналов) в выбранной частотной области. НИОКР «Создание экспериментального образца портативного анализатора спектра (ПАС)» выполняется в рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Наука и инновации». НИОКР выполняется в два этапа. В 2024 году был выполнен первый этап НИОКР – «Проведение исследований, выбор основного технического решения». В рамках первого этапа НИОКР решались следующие задачи:

- исследование аналогов, определение прототипа устройства;
- выбор основного технического решения;
- разработка структурной и функциональной схем;
- проведение компьютерного моделирования работы устройства.

По результатам первого этапа НИОКР было определено, что разрабатываемое устройство должно представлять собой цифровой многоканальный приемник, с применением 21-го БПФ, которые можно рассматривать в виде банка фильтров с одинаковой полосой. В состав устройства должны входить блок БПФ, набор цифровых преобразователей частоты, набор цифровых фильтров и блоки обнаружителя-измерителя параметров. Данные со спектра используются только для настройки преобразователей частоты, выходы которых в дальнейшем анализируются. Основное техническое решение, выбранное для использования в настоящей работе, представляет собой приемник прямого преобразования, который характеризуется относительной простотой аппаратной части. В рамках первого этапа НИОКР разработана принципиальная электрическая схема устройства и сборочные чертежи макетного образца ПАС. Электронно-геометрическая модель макетного образца ПАС представлена на рис. VI.2. В рамках первого этапа НИОКР был создан стенд для измерения и визуализации распределения энергии электромагнитных колебаний (сигналов) в полосе частот от 1 МГц до 7 ГГц, что позволяет протестировать основные алгоритмы обработки сигналов и отработать стек используемых технологий. Макет для отладки технологического ПО из состава стенда представлен на рис. VI.3.

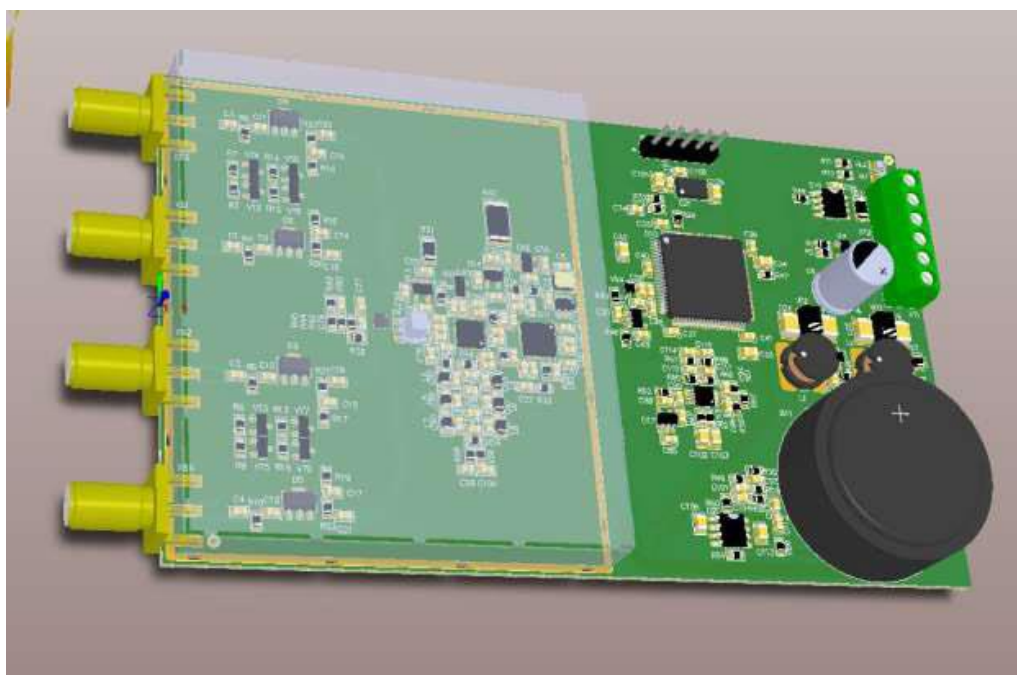


Рис. VI.2. Электронно-геометрическая модель макетного образца ПАС



Рис. VI.3. Макет для отладки технологического ПО из состава стенда для измерения и визуализации распределения энергии электромагнитных колебаний (сигналов) в полосе частот от 1 МГц до 7 ГГц

НИОКР «Разработка системы обработки информации координатных детекторов»

Целью НИОКР являлась разработка прототипа системы обработки информации координатных детекторов, разработанных АО «НИИП» в рамках реализации проекта ВНЕ-507 «Разработка полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений». НИОКР «Разработка системы обработки информации координатных детекторов» выполнялась в рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Наука и инновации».

Координатные детекторы являются перспективными изделиями для применения в системах сканирования с применением проникающей радиации, например, в медицинской технике. Применение координатных детекторов неразрывно связано со сложной и быстродействующей системой сбора и обработки информации, которая во многом определяет характеристики получаемых данных. Системы сбора и обработки информации проектируются индивидуально под каждый координатный детектор с учетом его характеристик и интерфейса. НИОКР «Разработка системы обработки информации координатных детекторов» является задельной работой в направлении создания систем на основе координатного детектора, разработанного АО «НИИП» для рентгеноскопии, МРТ и КТ.

Задачами НИОКР являлись:

- обзор существующих методов управления координатными детекторами и сбора информации с них;
- определение требований к характеристикам системы с учетом функционала и особенностей разработанных детекторов;
- выбор концепции построения системы для реализации требуемого функционала, разработка функциональной схемы системы;
- разработка схем электрических принципиальных, соединений (и других при необходимости) для изготовления прототипа системы, выполнение трассировки печатных плат, разработка элементов придания механической прочности (при необходимости);
- монтаж печатных плат, кабельных линий, разработка программного обеспечения;
- проверка работоспособности и определение достигнутых характеристик прототипа обработки информации координатных детекторов.

Для проведения исследований параметров выбраны два типа координатно-чувствительных структур, разработанных в ходе проведения работ по проекту ЕОТП АО «НИИП»: кристаллы чувствительных матриц (ЧМ) и полнофункциональных матричных монолитных чувствительных элементов (ПММЧЭ). Изображение кристаллов данных детекторов приведено на рис. VI.4.

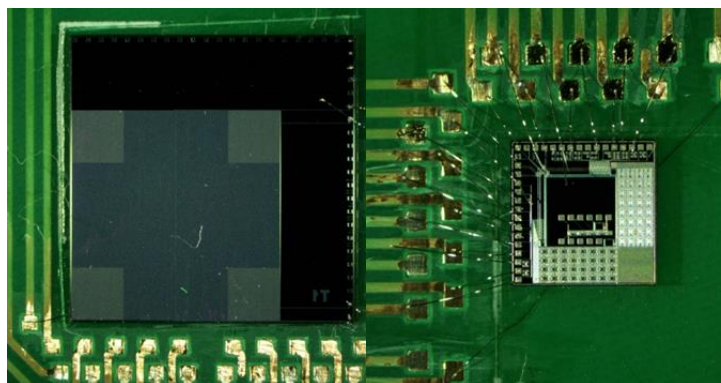


Рис. VI.4. Фотографии кристаллов образцов полупроводникового координатного детектора: кристалл ЧМ (слева), кристалл ПММЧЭ (справа)

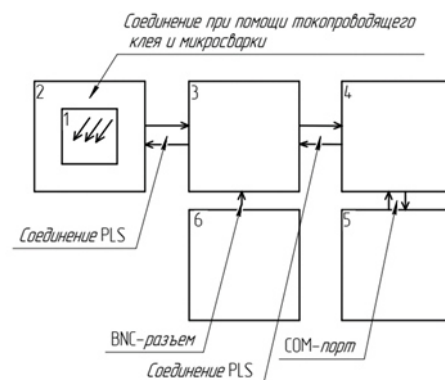


Рис. VI.5. Функциональная схема системы обработки сигналов координатных детекторов: 1 – координатный детектор, 2 – монтажная плата, 3 – переходная плата, 4 – микроконтроллер, 5 – персональный компьютер, 6 – источник питания

При разработке функциональной схемы подключения координатных детекторов за основу была взята отладочная плата Nucleo-F746ZG. Функциональное устройство включает в себя две светочувствительные матрицы, схему управления, два аналого-цифровых преобразователя и микроконтроллер семейства STM32F7. Каждая из матриц подключается через дешифратор с девятью выходами к цифровым выводам микроконтроллера в режиме входа. Каждый из АЦП подключается к аналоговым входам. Для покадровой передачи видео по протоколу TCP с использованием среды разработки LabView 17.0 были разработаны два алгоритма: для передачи черно-белого изображения и для передачи изображения, которое имеет восьмибитный цвет. Функциональная схема системы обработки сигналов координатных детекторов представлена на рис. VI.5. На матрицы ЧМ и ПММЧЭ было проведено воздействие импульсным фотонным излучением в видимом диапазоне. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что вольтамперные характеристики сегментов чувствительных матриц имеют диодный вид, что соответствует заявленной характеристике, матрицы имеют различный отклик на воздействие с различными временными характеристиками и характеристиками интенсивности.

VII. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

АО «НИИП» является учредителем и издателем научно-технического сборника «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру», ISSN 1997-2830. Сборник издается с 1990 года. Главным редактором сборника является заместитель генерального директора по науке и инновациям АО «НИИП», доктор технических наук, Константин Иванович Таперо. Сборник включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК на 2023-2025 годы, категория К2. Сборник поставляется в Российскую книжную палату в количестве по 16 штук обязательных экземпляров каждого выпуска. Информация об опубликованных в данном сборнике статьях предоставляется в систему Российского индекса научного цитирования – РИНЦ.

В 2024 году были выпущены четыре выпуска сборника «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру», в которых было опубликовано 27 научно-технических статей. Перечень научно-технических статей, опубликованных в сборнике «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру» в 2024 году приведен ниже.

ВЫПУСК 1

А.В. Грунин, А.Н. Залялов, С.А. Лазарев, И.В. Пенягин, П.А. Шанина Самосогласованный подход к оценке заряжения диэлектрических материалов при импульсной инжекции высокоэнергетических электронов

О.А. Горелова, А.В. Грунин, А.Н. Залялов, К.Н. Ковшов, С.А. Лазарев, А.Г. Малькин, М.С. Миронов, Н.К. Миронов Детекторы с диэлектрическим рассеивателем для измерения характеристик высокоинтенсивных и высокодозных полей тормозного излучения

О.В. Ткачев, А.Н. Гладышева, М.Г. Березовская Определение поглощенной дозы в SiO_2 с использованием метода электронного парамагнитного резонанса

М.В. Яковлев Эффекты низкоинтенсивного облучения и радиационно-наведенная электропроводность диэлектрических материалов

Н.М. Хамидуллина, П.С. Черников, И.В. Зефир Сравнение параметров одиночных эффектов, создаваемых ионизирующими излучениями космического пространства, и радиоизотопных источников в радиоэлектронной аппаратуре межпланетных космических аппаратов. Определение критериев выбора стойких к одиночным эффектам микросхем

Н.Д. Абросимова, В.В. Бибикина, И.Ю. Забавичев, С.Н. Кузнецов, А.С. Новиков, С.Д. Серов, А.А. Потехин, А.С. Пузанов, С.В. Оболенский Влияние дефектности многослойных полупроводниковых структур на основе кремния на их реакцию на сфокусированное лазерное излучение

ВЫПУСК 2

А.В. Согоян Приближенное представление импульсного отклика линейной системы

А.В. Согоян Способ расчета времени потери работоспособности с учетом формы импульса излучения

А.В. Согоян Определение показателей стойкости линейных электронных систем к воздействию импульсного излучения при ограниченном объеме экспериментальных данных

В.В. Емельянов, Д.М. Арзамасцева, А.Е. Нестеренко, А.С. Ватуев Влияние дозовых нагрузок на предпробивные характеристики МОП-структуры

Т.И. Полётова, М.А. Ермаков, А.В. Родигин, П.А. Юнин, С.А. Краев, Е.А. Архипова, А.Л. Юрьев, А.А. Селезнев, С.Л. Эльяш, А.В. Грунин Импульсные характеристики ионизационного детектора с рабочим телом из монокристаллического сапфира

Н.К. Миронов, А.В. Грунин, С.А. Лазарев, Е.Н. Крылевский Повышение предела регистрации интегральных и динамических характеристик тормозного излучения мощных импульсных источников с помощью сцинтилляционных детекторов

М.А. Трусков, А.В. Родигин, А.А. Селезнев, С.Л. Эльяш, А.Л. Юрьев Регистрация импульсной характеристики измерительного канала на основе быстродействующей аналоговой волоконно-оптической системы передачи при воздействии субнаносекундных импульсов тормозного излучения

ВЫПУСК 3

А.И. Чумаков, Д.В. Бобровский, А.В. Согоян, А.А. Печенкин, А.С. Артамонов, А.А. Сливин, Е.М. Сыресин, Г.А. Филатов Проблемы оценки стойкости корпусированных ИС при воздействии высокоэнергетичных ионов

Д.В. Бобровский, А.И. Чумаков, С.А. Соловьев, И.И. Швецов-Шиловский, А.А. Сливин, Е.М. Сыресин, Г.А. Филатов Особенности проявления одиночных радиационных эффектов в ИС при воздействии импульсных пучков ионов

А.А. Коновалов, С.М. Дубровских, О.В. Ткачёв, В.О. Гизов Исследование радиационно-индуцированного свечения в оптическом волокне при воздействии электронного излучения

А.А. Кузовлева, А.С. Пилипенко Исследование влияния режимов работы БИКМОП линейного стабилизатора напряжения на его радиационную стойкость

О.В. Мещуров, Р.Г. Усеинов Оценка погрешности измерения поглощенной дозы МОП-детектором при различных температурах окружающей среды в процессе облучения

О.В. Ткачев, А.С. Кустов, И.А. Илларионова, В.С. Носовец Одиночные сбои в микросхемах СОЗУ при воздействии тепловых и быстрых нейтронов

М.Е. Артёмов, Т.Ш. Комбаев, Н.М. Хамидуллина, И.В. Зефирова К вопросу о стойкости к дозовым эффектам электронной компонентной базы малых космических аппаратов дистанционного зондирования земли

ВЫПУСК 4

Согоян А.В. Априорная оценка норм испытаний: минимаксный подход

Согоян А.В. Априорная оценка норм испытаний: байесовский подход

Земцов А.Э., Таперо К.И., Емельянов В.В., Петров А.С., Бесецкий А.В., Филимонов А.В. Методика регистрации вольт-амперной характеристики МОП-транзистора после воздействия импульсного ионизирующего излучения в диапазоне времени от 10^{-4} до 10^2 секунд

Петров А.С., Земцов А.Э., Бакеренкова Д.М., Таперо К.И. Алгоритмы ускоренных радиационных испытаний биполярных полупроводниковых изделий с учетом эффектов длительного низкоинтенсивного облучения

Пилипенко А.С. Периодическая регистрация одиночных сбоев в СОЗУ во время нейтронного импульса

Ткачев О.В., Кустов А.С., Грядобитов В.С., Новикова С.В. Эквивалентность температурной чувствительности тиристорного эффекта в СОЗУ от нейтронов и импульса напряжения

Ткачев О.В., Ступаков А.А., Кустов А.С. Влияние нейтронного и гамма-излучений на время хранения данных в ячейках памяти динамического ОЗУ

В рамках проведения 27-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» был выпущен сборник тезисов докладов конференции (ISSN 2588-0292, издатель АО «НИИП»), в котором было опубликовано 99 работ. С 2021 года данный сборник индексируется в системе Российского индекса научного цитирования – РИНЦ. Сборник распространяется среди участников конференции.

VIII. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

4-5 июня 2024 г. АО «НИИП» в соответствии с Планом проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2024 год провел 27-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию «Радиационная стойкость электронных систем» - «СТОЙКОСТЬ-2024». Конференция проводилась в г. Москва на базе отеля «Холидей Инн Сокольники». Конференция была организована при поддержке АНО «Корпоративная Академия Росатома».

В работе конференции приняли участие 210 человек из 50 предприятий и организаций Российской Федерации. На конференции были представлены 114 докладов, в том числе 29 устных и 85 стендовых докладов ведущих специалистов Росатома, Роскосмоса, Минобрнауки, Минобороны, Минпромторга России, а также Российской академии наук по следующим тематическим направлениям:

- Внешние радиационные условия эксплуатации изделий электронной техники, электротехники и аппаратуры.
- Радиационные и электромагнитные эффекты в изделиях радиоэлектроники, механизмы деградации параметров, отказы, одиночные сбои.
- Оценка и обеспечение радиационной стойкости и надежности изделий электронной техники, электротехники, аппаратуры, радиотехнических материалов, в том числе материалов космического назначения.
- Расчётные и экспериментальные методы определения радиационной стойкости изделий.
- Испытательные установки, дозиметрическое и метрологическое сопровождение испытаний.

К началу конференции был выпущен сборник тезисов докладов конференции «Стойкость-2024», который индексируется в системе Российского индекса научного цитирования – РИНЦ.

Из года в год конференция «Стойкость» подтверждает свой высокий научный и организаторский уровень и способствует эффективному сотрудничеству представителей предприятий как внутри отрасли, так и за её пределами.

1-4 июля 2024 г. АО «НИИП» в соответствии с Планом проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2024 год провел 18-ю Научную школу-семинар «Методы оценки и обеспечения радиационной стойкости изделий электронной техники» – «Радиационная стойкость» имени В.Н. Улимова - 2024. Школа-семинар была проведена на базе Культурно-просветительского центра «Академия Маяк» имени А.Д. Сахарова, г. Нижний

Новгород. Мероприятие было организовано при поддержке АНО «Корпоративная Академия Росатома»

В работе школы-семинара приняли участие 56 слушателей и 15 лекторов. В программу школы-семинара вошли 15 лекций по наиболее актуальным вопросам физики радиационного воздействия на электронную компонентную базу, радиоэлектронную аппаратуру и материалы, применяемые в электронике и электротехнике. Лекции были представлены специалистами АО «НИИП», АО «НИИ КП», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», ННГУ им. Лобачевского, ООО «НПЦ «ЭКРАН».

Участники отметили высокий организационный и научно-технический уровень мероприятия практическую ценность полученных знаний.

Оргкомитет школы-семинара принял решение организовать и провести 19-ю Научную школу-семинар «Радиационная стойкость-2025» имени В.Н. Улимова в г. Нижний Новгород в июле 2025 г.



ПРИЛОЖЕНИЕ

Список публикаций сотрудников АО «НИИП» за 2024 год

1. G.I. Zebrev, N.N. Samotaev, R.G. Useinov, A.M. Galimov, V.V. Emeliyanov, A.A. Sharapov, D.A. Kazyakin, A.S. Rodin, Proton- and Neutron-Induced SEU Cross-Section Modeling and Simulation: A Unified Analytical Approach. Radiation. 2024. Vol. 4, № 1, P. 37-49, <https://doi.org/10.3390/radiation4010004>.
2. I.A. Busygina, I.G. Grigoryeva, P.V. Moskvich, P.Yu. Naumov, G.Kh. Salakhutdinov, Application of Thermoluminescent Detectors for Pulsed X-Ray Spectrometry // Instruments and Experimental Techniques. 2024. Vol. 67, № 1. P. 108-112.
3. D.I. Bolotina, A.I. Kononenko, A.L. Pomerantsev, A.G. Tsikanin, Modeling of Thermal Aging of a Cable Polymer Composition Based on Ethylene Vinyl Acetate // Polymer Science, Series D, 2024, Vol. 17, No. 1, pp. 129-135.
4. В.В. Емельянов, Д.М. Арзамасцева А.Е. Нестеренко А.С. Ватуев, Влияние дозовых нагрузок на предпробивные характеристики МОП-структуры // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2024. Вып. 2. С. 36-41
5. О.В. Мещуров, Р.Г. Усеинов, Оценка погрешности измерения поглощенной дозы МОП-детектором при различных температурах окружающей среды в процессе облучения // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2024. Вып. 3. С. 30-36.
6. И.А. Бусыгина, П.В. Москвич, Измерение спектральных характеристик лазерно-плазменного источника на основе термолуминисцентных детекторов // Квантовая электроника. 2024. Вып. 54, № 6. С. 341-346.
7. Арзамасцева Д.М. Петров А.С., Расчетно-экспериментальный метод учета влияния формы импульса при испытаниях изделий ЭКБ // Наноиндустрия. 2024. Т. 17, № S10-2 (128). С. 809-811.
8. А.А. Шарапов, А.С. Ватуев, В.В. Емельянов, Учет расходимости сфокусированного лазерного пучка при оценке параметров чувствительности к одиночным радиационным эффектам // Наноиндустрия. 2024. Т. 17, № S10-2 (128). С. 819-823.
9. А.С. Ватуев, А.А. Шарапов, А.И. Озеров, Оптимизация методов испытаний и алгоритмов оценки стойкости полевых транзисторов к различным видам радиации с применением перспективного испытательного оборудования // Моделирование систем и процессов. 2024. Т. 17, № 3. С. 16-25.
10. Земцов А.Э., Таперо К.И., Емельянов В.В., Петров А.С., Бесецкий А.В., Филимонов А.В., Методика регистрации вольт-амперной характеристики МОП-транзистора после воздействия импульсного ионизирующего излучения в диапазоне времени от 10^{-4} до 10^2 секунд // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2024. Вып. 4. С. 27-33.
11. Петров А.С., Земцов А.Э., Бакеренкова Д.М., Таперо К.И., Алгоритмы ускоренных радиационных испытаний биполярных полупроводниковых изделий с учетом эффектов длительного низкоинтенсивного облучения // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2024. Вып. 4. С. 34-40.

12. А.Э. Земцов, А.С. Петров, К.И. Таперо, Метод измерения порогового напряжения МОП-транзисторов непосредственно после воздействия импульса ионизирующего излучения // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 89-90.

13. А.Э. Земцов, К.И. Таперо, Проблемы исследования процессов быстрой релаксации заряда в подзатворных оксидах при воздействии импульсного ионизирующего излучения // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 91-92.

14. Е.С. Чуянова, М.В. Рябцева, И.В. Бадурин, Е.С. Логинова, Н.Т. Вагапова, А.С. Петров, О.С. Сергеев, К.И. Таперо, Д.М. Арзамасцева, Исследование деградации фототока фотоэлектрических преобразователей на основе Si наземного назначения под воздействием ионизирующего излучения // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 93-94.

15. Д.М. Арзамасцева, А.С. Петров, Влияние «паразитной» биполярной структуры на деградацию МОП-транзисторов // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 95-96.

16. В.В. Емельянов, Д.М. Арзамасцева, А.Е. Нестеренко, А.С. Ватуев, Влияние дозовых нагрузок на предпробивные характеристики МОП-структуры // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 97-98.

17. А.Д. Демидкина, А.А. Козлов, А.С. Ватуев, Технология восстановления работоспособности образцов электронной компонентной базы с поврежденными разварочными соединениями // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 99-100.

18. А.А. Шарапов, А.С. Ватуев, В.В. Емельянов, А.И. Озеров, Методические особенности применения лазерных установок для исследований стойкости ЭКБ к объемным импульсным ионизационным эффектам // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 101-120.

19. А.А. Шарапов, А.С. Ватуев, В.В. Емельянов, Сравнение экспериментальных методов оценки толщины подзатворного диэлектрика в силовых транзисторах // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 103-104.

20. А.С. Ватуев, А.В. Сиделев, Технологические возможности АО «НИИП» для испытаний и исследований радиационной стойкости ЭКБ в бескорпусном исполнении. Направления и перспективы развития // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 105-106.

21. О.В. Мещуров, Р.Г. Усеинов, Оценка погрешности измерения поглощенной дозы МОП-детектором при различных температурах окружающей среды в процессе облучения // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 107-109.

22. Р.Г. Усеинов, А.А. Шарапов, Вычисление распределений вторичных ионов по энергии и ЛПЭ в Si при нейтронном облучении с различными энергиями с помощью программы GEANT4 // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 110-111.

23. Р.Г. Усеинов, Г.И. Зебрев, А.А. Шарапов, Аналитическая модель вычисления сечений тиристорного эффекта от источников нейтронов различного

энергетического спектра и для различных температур // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 112-113.

24. Р.Г. Усеинов, Вычисление сечений одиночных сбоев от источников нейтронов с различными энергетическими спектрами по модифицированной BGR модели // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 114-116.

25. А.В. Бесецкий, А.В. Филимонов, Особенности испытаний микросхем динамической памяти на стойкость к воздействию статического гамма излучения // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 117-118.

26. И.А. Бусыгина, П.В. Москвич, П.Ю. Наумов, Г.Х. Салахутдинов, Использование сцинтилляторов для регистрации рентгеновского излучения высокой интенсивности // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 119-121.

27. И.А. Бусыгина, П.В. Москвич, П.Ю. Наумов, Г.Х. Салахутдинов, Исследование спектра высокоинтенсивного импульсного рентгеновского излучения с применением термолюминесцентных детекторов // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 122-123.

28. Р.С. Плишко, П.В. Москвич, Ю.В. Стогов, Изучение одиночных радиационных эффектов, создаваемых быстрыми нейтронами плутоний-бериллиевого источника в усилительном каскаде с полевым транзистором // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 124-126.

29. А.И. Кононенко, Аттестация кабельных изделий объектов использования атомной энергии // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 127-129.

30. А.П. Метелёв, Эволюция импеданса вакуумной передающей линии на установке УИН-10 // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 130-132.

31. А.П. Метелёв, Модернизация геометрии вакуумной передающей линии на установке УИН-10 // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 133-135.

32. Д.М. Иващенко, П.В. Боголюбова, Е.В. Солонникова, А.А. Сафьянов, А.Н. Махиня, А.К. Липский, В.В. Кочергин, Развитие и совершенствование имитационных установок АО «НИИП» для испытаний на электромагнитную совместимость // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 136-137.

33. Д.М. Иващенко, А.В. Кириллов, П.В. Москвич, Ю.С. Лойко, Программное обеспечение по автоматизации процесса определения динамических характеристик импульсных ускорителей электронов АО «НИИП» в режиме генерации тормозного излучения // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 138.

34. А.В. Сиделев, В.В. Емельянов, Е.П. Сиделева, Оптимизационные расчеты конструкции затворной системы МДП-детекторов дозы типа МНОП // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 139-140.

35. С.А. Леготин, А.В. Сиделев, С.Ю. Юрчук, В.Н. Мурашев, М.П. Коновалов, Н.С. Хрущев, Архитектура монолитного матричного чувствительного элемента рентгеновского излучения // 27-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2024»: сб. тезисов. Лыткарино, 2024, 4-5 июня. С. 141-142.