



НИИП
РОСАТОМ

НАУЧНЫЙ
ГОДОВОЙ
ОТЧЕТ
АО «НИИП»
ЗА 2023 ГОД

ЛЫТКАРИНО 2024

Акционерное общество
«Научно-исследовательский
институт приборов»

НАУЧНЫЙ ГОДОВОЙ ОТЧЕТ АО «НИИП» ЗА 2023 ГОД

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборов»

Лыткарино 2024

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: risi@niipribor.ru

СОДЕРЖАНИЕ

I. ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА.....	4
II. О ПРЕДПРИЯТИИ	6
III. ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ.....	8
Общая характеристика деятельности	8
Экспериментальная база направления.....	10
Метрологическое обеспечение испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость	27
Научные проекты по тематике испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость	33
<i>Проект ЕОТП ВНЕ-362 «Совершенствование технологии испытаний электронной компонентной базы в части определения показателей стойкости к воздействию ионизирующих излучений с применением импульсных источников лазерного излучения».....</i>	<i>33</i>
<i>Проект ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов».....</i>	<i>39</i>
IV. ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КАБЕЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ	42
Общая характеристика деятельности	42
Экспериментальная база направления.....	46
Научные проекты по тематике технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии	55
<i>НИОКР «Разработка системы по управлению старением конструкций, систем и компонентов на всех этапах жизненного цикла энергоблоков АЭС в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ в части проведения испытаний материалов представительных образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС и исследование механизмов их старения» по программе РТТН</i>	<i>55</i>

<i>Проект ЕОТП МТ-508 «Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей»</i>	66
V. ПРОИЗВОДСТВО МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ БЕСТИГЕЛЬНОЙ ЗОННОЙ ПЛАВКИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ	71
VI. НОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	74
<i>Проект ЕОТП ВНЕ-506 «Разработка многоцелевых детекторов для контроля дозы ионизирующего излучения на основе микроэлектронных структур типа MNOS и SONOS»</i>	74
<i>Проект ЕОТП ВНЕ-507 «Разработка полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений»</i>	76
<i>Проект ЕОТП МТ-509 «Разработка технологий выращивания эпитаксиальных структур арсенида галлия из жидкой фазы и изготовления GaAs p+-rip-n+ пластин диаметром 76 мм для силовых диодов с напряжением до 1200 В»</i>	80
<i>Проект ЕОТП МТ-611 ««Носимая система терморегулирования человеческого тела с высоким показателем автономности»</i>	82
VII. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.....	85
VIII. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ.....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ	
Список публикаций сотрудников АО «НИИП» за 2023 год	90

I. ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

В 2023 году научная деятельность предприятия формировалась при поддержке программ РТТН и ЕОТП. Особенностью 2023 года являлось то, что ряд проектов, предложенных нами для реализации в рамках данных программ, в данном году были завершены. Все цели, заявленные в рамках законченных проектов, были достигнуты, получены очень интересные результаты, что позволяет переходить к следующей стадии – реализации бизнес проектов.

Важной вехой в развитии предприятия стало успешное завершение проектов ЕОТП ВНЕ-362 «Совершенствование технологии испытаний электронной компонентной базы в части определения показателей стойкости к воздействию ионизирующих излучений с применением импульсных источников лазерного излучения», ЕОТП ВНЕ-506 «Разработка многоцелевых детекторов для контроля дозы ионизирующего излучения на основе микроэлектронных структур типа MNOS и SONOS», ЕОТП ВНЕ-507 «Разработка полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений», проект ЕОТП МТ-509 «Разработка технологий выращивания эпитаксиальных структур арсенида галлия из жидкой фазы и изготовления GaAs p+-pin-n+ пластин диаметром 76 мм для силовых диодов с напряжением до 1200 В».

Результаты работ, выполненных предприятием в рамках проекта ЕОТП ВНЕ-362, позволили внедрить на предприятии методы испытаний электронной компонентой базы на стойкость к воздействию ионизирующих излучений с помощью инновационных лазерных установок.

В рамках проекта ЕОТП ВНЕ-506 разработаны многоцелевые детекторы для контроля дозы ионизирующего излучения, которые позволяют перейти к следующей стадии – разработке дозиметрической

аппаратуры для применения в медицине, космической технике и в других областях науки и техники, в которых требуется проводить измерения и контроль интегральной дозы ионизирующего излучения.

В рамках проекта ЕОТП ВНЕ-507 разработан и изготовлен полнофункциональный образец монолитного матричного чувствительного элемента для координатных детекторов фотонного излучения с энергией от единиц до десятков кэВ, с пространственным разрешением до 5 мкм, и временным разрешением не более 8 нс. Данная разработка должна найти свое применение в рамках ядерного приборостроения и ядерной медицина (включая аппаратуру для медико-биологических исследований), а также в научной аппаратуре для фундаментальных и прикладных исследований.

В рамках проекта ЕОТП МТ-509 были изготовлены технологические установки для выращивания эпитаксиальных структур LPE-GaAs из жидкой фазы GaAs, проведены испытания технологической линии выращивания эпитаксиальных структур LPE-GaAs p+-pin-n+ на пластинах GaAs диаметром 76 мм, изготовлена опытная партия LPE-GaAs p+-pin-n+ пластин.

В целом работы предприятия по программам РТТН и ЕОТП позволили расширить традиционные направления деятельности предприятия и фактически сформировать два новых направления:

- производство полупроводниковых материалов;
- приборостроение специального назначения.

В настоящем отчете представлены краткая характеристика научной и инновационной деятельности предприятия за 2023 год, описания выполненных предприятием в 2023 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. Предприятие аккредитовано в качестве испытательного центра в Системе добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электронной компонентной базы и материалов военного, двойного и народнохозяйственного назначения «ЭЛЕКТРОНСЕРТ».

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», 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, вопросы создания моделирующих установок, а также вопросы 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;
- эксплуатация объектов (изделий), использующих ядерную энергию, ядерные материалы, радиоактивные вещества, в том числе исследовательских реакторов, ускорителей заряженных частиц, рентгеновских аппаратов, хранилищ ядерных материалов и радиоактивных веществ и другого оборудования экспериментальной базы.

В рамках направления испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость в 2023 году АО «НИИП» завершило выполнение 3-х летнего проекта ЕОТП ВНЕ-362 «Совершенствование технологии испытаний электронной компонентной базы в части определения показателей стойкости к воздействию ионизирующих излучений с применением импульсных источников лазерного излучения». Все работы проекту были выполнены в полном объеме и с надлежащим качеством.

В 2023 году в рамках направления испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость стартовал проект ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов». В 2023 году выполнен первый этап проекта.

В рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Наука и инновации» в 2023 году были выполнены пять НИОКР:

- «Исследование поля низкоэнергетического электронного и бета-излучений установки на базе стронций-иттриевого источника»;
- «Экспериментальные исследования спектральных характеристик импульсного рентгеновского излучения в диапазоне от 10 эВ до 3 МэВ»;
- «Создание генератора одиночных импульсов напряжения для обеспечения испытаний электрорадиоизделий на импульсную электрическую прочность»;
- «Методы и схемотехнические решения парирования тиристорного эффекта при испытаниях на стойкость к воздействию тяжелых заряженных частиц»;
- «Исследование влияния параметра выходного сопротивления генератора ОИН на результаты оценки стойкости образцов ЭРИ к воздействию ОИН».

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 – $E_{ср} = 1,25$ 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 2023 году общая продолжительность испытаний на установке ГУ-200 составила 5483 час.



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 – $0,001 \pm 0,1$ 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 2023 году общая продолжительность испытаний на стенде «Гамма-Н» составила 3740 час.



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 2023 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой РИУС-5, составило 771.



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 2023 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой ЛИУ-10, составило 45.



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 см³ – до 50 кР.

Режим воспроизведения электромагнитного импульса:

- напряженность в электрической составляющей импульсного электромагнитного поля (ИЭМП) – 86,0±5,9 кВ/м;
- напряженность магнитной составляющей ИЭМП – 232,7 А/м;
- длительность импульса – 34,4 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 2023 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой УИН-10П, составило 209.



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.

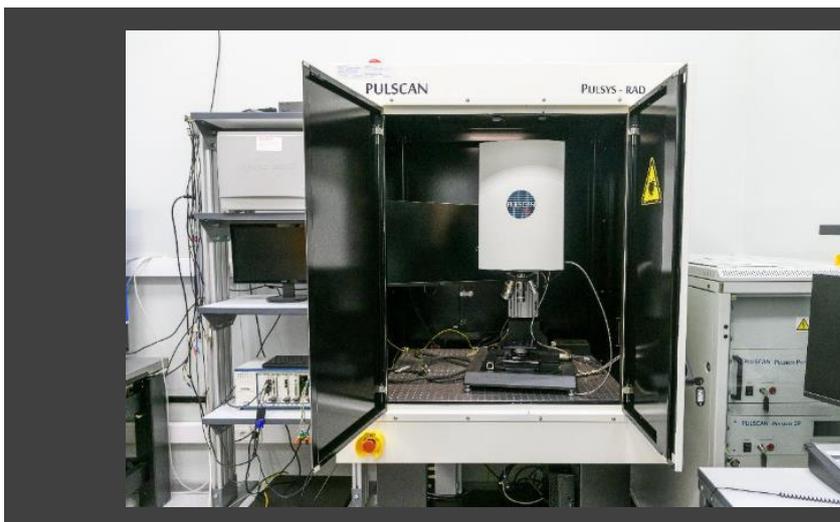
Максимальная мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на 1 см от выходного окна трубки – $5,5 \cdot 10^9$ Р/с.

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 2023 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 2023 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 воспроизведения 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.

В 2023 году общая продолжительность испытаний на стенде составила 16 смен.



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

В 2023 году общая продолжительность испытаний на стенде составила 23 смены.



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 2023 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. В 2023 году общая продолжительность испытаний на стенде составила 44 смены.



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. Установка аттестована на соответствие требованиям ГОСТ РВ 20.57.306-98, ГОСТ РВ 20.57.416-98.

В 2023 году общая продолжительность испытаний на стенде составила 6 смен.



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 $t_{окр.ср.}$ до минус 65 °С.

Средняя скорость достижения температурных режимов, не менее – при нагревании от $t_{окр.ср.}$ до 155 °С – 3 минуты; при охлаждении от $t_{окр.ср.}$ 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 станда 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.

В 2023 году испытаний на стенде не проводилось.

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 2023 году общее количество ЭМ импульсов, сгенерированных установкой УИЭП, составило 153.



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);
- 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;
- дозиметрическое сопровождение испытаний;
- исследование характеристик полей ионизирующих излучений;
- участие в аттестации испытательного оборудования (ИО).

АО «НИИП» обладает широким парком СИ, позволяющим проводить измерения интегральных и динамических характеристик полей ионизирующих излучений, электрических и магнитных физических величин.

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.

**Таблица 1 – Перечень ИО, 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 $1,8 \cdot 10^{-10}$ до $1,3 \cdot 10^5$ Кл·кг ⁻¹ (от $7 \cdot 10^{-7}$ до $5,2 \cdot 10^8$ Р)
ИО для воспроизведения мощности экспозиционной дозы	Диапазон воспроизведения экспозиционной дозы гамма-, рентгеновского, тормозного излучения – от $2 \cdot 10^{-11}$ до $1,3 \cdot 10^{10}$ А·кг ⁻¹ (от $8 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{13}$ Р/с)
ИО для воспроизведения кермы	Диапазон воспроизведения кермы в воздухе гамма-, рентгеновского, тормозного излучения – от $6 \cdot 10^{-9}$ до $4,6 \cdot 10^6$ Гр
ИО для воспроизведения мощности кермы	Диапазон воспроизведения мощности кермы в воздухе гамма-, рентгеновского, тормозного излучения – от $6,7 \cdot 10^{-10}$ до $4,6 \cdot 10^9$ Гр/с
ИО для воспроизведения поглощенной дозы	<ul style="list-style-type: none"> • Диапазон воспроизведения поглощенной дозы в стандартном веществе – от 10^3 до 10^5 Гр • Диапазон воспроизведения поглощенной дозы в кремнии – от 10^{-2} до $5 \cdot 10^3$ Гр • Диапазон воспроизведения поглощенной дозы в полистерене – от 10^{-3} до $3 \cdot 10^5$ Гр
ИО для воспроизведения мощности поглощенной дозы	<ul style="list-style-type: none"> • Диапазон воспроизведения мощности поглощенной дозы в полистерене – от $4 \cdot 10^{-6}$ до 375 Гр/с • Диапазон воспроизведения поглощенной дозы в графите – от 1 до 10^3 Гр/с • Диапазон воспроизведения поглощенной дозы в кремнии – от 10^{-4} до 50 Гр/с
ИО для воспроизведения флюенса	<ul style="list-style-type: none"> • Диапазон воспроизведения флюенса протонов – от 10^9 до $1,5 \cdot 10^{15}$ см⁻² • Диапазон воспроизведения флюенса электронов – от $5 \cdot 10^9$ до $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² • Диапазон воспроизведения флюенса нейтронов – от 10^9 до 10^{16} см⁻² • Диапазон воспроизведения флюенса ТЗЧ – от 10^3 до 10^9 см⁻²

ИО для воспроизведения плотности потока	<ul style="list-style-type: none"> • Диапазон воспроизведения флюенса протонов – от 10 МэВ до 10 ГэВ • Диапазон воспроизведения флюенса электронов – от $4 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ • Диапазон воспроизведения флюенса нейтронов – от 10^{13} до $10^{20} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ • Диапазон воспроизведения флюенса ТЗЧ – от 1 до $10^8 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
ИО для воспроизведения энергии	<ul style="list-style-type: none"> • Диапазон воспроизведения энергии протонов – от 10^4 до $1,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ • Диапазон воспроизведения энергии электронов – от 0,05 до 18 МэВ • Диапазон воспроизведения энергии нейтронов – от 10^{-10} до 18 МэВ • Диапазон воспроизведения энергии ТЗЧ – от 24 МэВ до 13 ГэВ
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 потока энергии	Диапазон воспроизведения потока энергии электронов – от 1 до 100 Вт
ИО для воспроизведения переноса энергии	Диапазон воспроизведения переноса энергии электронов – от 50 до $10^3 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}$
ИО для воспроизведения удельной (переданной) энергии	Диапазон воспроизведения удельной (переданной) энергии – от 10^3 до $10^5 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$
ИО для воспроизведения потока	Диапазон воспроизведения потока электронов – от $5 \cdot 10^7$ до $2 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$

Для достижения своих целей метрологическая служба использует эталоны единиц величин, СИ и дополнительное оборудование, представленное ниже.

За 2023 год в соответствии с графиком поверки (калибровки) в АО «НИИП» было поверено (откалибровано) 1065 единиц средств измерений, из них в АО «НИИП» поверено 639 единиц.

За 2023 год в соответствии с графиком в АО «НИИП» было аттестовано 27 единиц испытательного оборудования.

Дозиметрическая поверочная установка – гамма-терапевтический аппарат АГАТ-С (ВЭТ-13-92)



Поверочная установка ГУ-200



Дозиметр ДКС-АТ5350/1



Установка дозиметрическая термолюминесцентная Harshaw 3500



Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12

Калибратор многофункциональный Fluke 5522A

Частотомер универсальный CNT-90XL

Нагрузка электронная АКИП-1381

Нагрузка электронная АКИП-1304



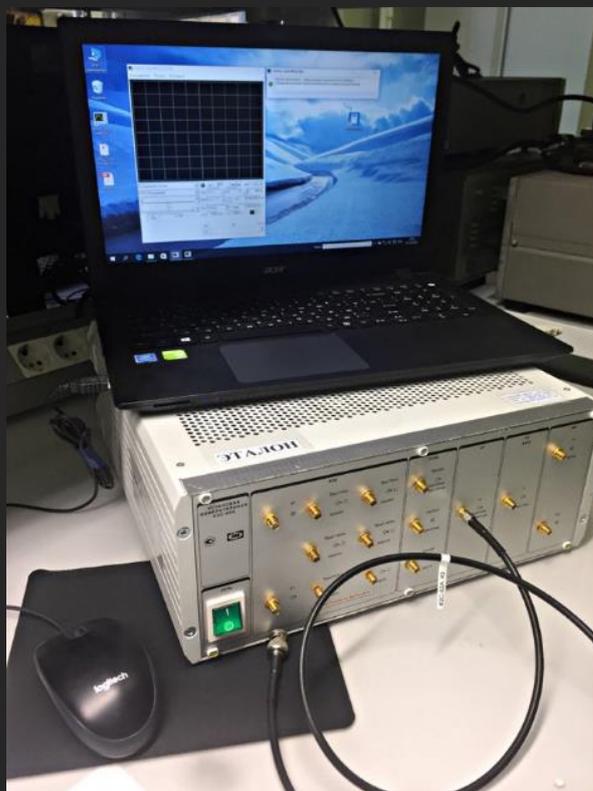
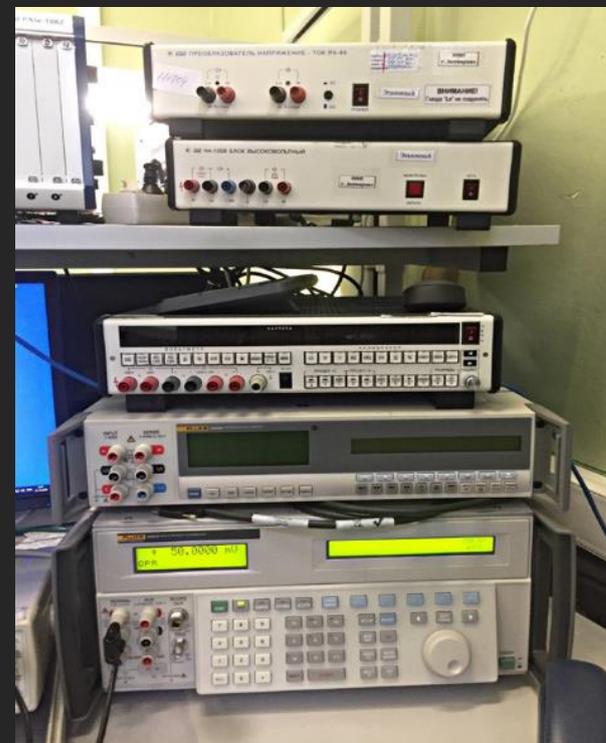
Дозиметр универсальный UNIDOS



Калибратор-вольтметр универсальный Н4-12

Калибратор многофункциональный Fluke 5522A

Установка измерительная K2C-62A





НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ ПО ТЕМАТИКЕ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Проект ЕОТП ВНЕ-362 «Совершенствование технологии испытаний электронной компонентной базы в части определения показателей стойкости к воздействию ионизирующих излучений с применением импульсных источников лазерного излучения»

В 2023 году были завершены работы по 3-х летнему проекту ЕОТП ВНЕ-362 «Совершенствование технологии испытаний электронной компонентной базы в части определения показателей стойкости к воздействию ионизирующих излучений с применением импульсных источников лазерного излучения». В рамках данного проекта работы проводились по двум отдельным тематикам:

- объемные импульсные ионизационные эффекты;
- локальные (одионочные) ионизационные эффекты.

В рамках третьего, заключительного, этапа данного проекта сотрудниками АО «НИИП» были проведены работы по созданию решений, направленных на оптимизацию технологического маршрута процесса испытаний ЭКБ.

Основными задачами, поставленными в рамках данного этапа, являлись:

1. Формирование справочника (базы данных) по данным коэффициентов маскирования, технологических операций при проведении испытаний и рецептов подготовки объектов ЭКБ к испытаниям.
2. Разработка и оптимизация карты технологического процесса проведения испытаний электронной компонентной базы с применением импульсных источников лазерного излучения.
3. Анализ результатов работы и подготовка отчетных документов и оформление результатов интеллектуальной деятельности.
4. Разработка типовых методик испытаний электронной компонентной базы и определения показателей радиационной стойкости объектов испытаний в части оценки чувствительности и определения фактических значений показателей стойкости к воздействию ионизирующего излучения с применениями импульсных источников лазерного излучения.

В результате выполнения данных задач получены решения, внедрение которых, позволяет во многом усовершенствовать процедуру испытаний и оценки радиационной стойкости ЭКБ, а именно сформирован справочник и электронная база данных по коэффициентам маскирования, технологических операций при проведении испытаний и рецептов подготовки объектов ЭКБ к испытаниям и разработана карта технологического процесса проведения испытаний электронной компонентной базы с применением импульсных источников лазерного излучения.

Целью создания справочника и базы данных по данным коэффициентов маскирования, технологических операций при проведении испытаний и рецептов подготовки объектов ЭКБ к испытаниям является оптимизация процедур и повышение достоверности результатов проводимых испытаний ЭКБ на стойкость к ионизирующим излучениям. Достижение данных целей со стороны пользователей справочника предполагается возможным за счет предоставления в справочнике достаточного объема информации о топологических особенностях ЭКБ, алгоритмах подготовки и проведения, а также о результатах испытаний, и данных о характеристиках испытательных установок. Основой справочника служит обширный практический опыт испытательной деятельности АО «НИИП» как в части применения испытательных установок на основе импульсных ускорителей электронов, так и в части применения установок импульсного лазерного излучения. Кроме того, в справочнике присутствуют данные, представленные в различных литературных источниках.

Параметры, характеризующие содержательную часть справочника приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание справочника (базы данных)

Параметр, характеристика БД	Значение
Структура базы данных по разделам	2 основных раздела 1 справочный раздел
Информативные параметры в БД:	Количество информативных параметров (шт.)
Раздел данных о коэффициентах маскирования	137
Раздел технических операций и рецептов	93
Справочный раздел по характеристикам испытательного оборудования	106
Формат информационных данных в составе базы данных	Числовые значения параметров, текстовые поля, графические данные
Количество записей в составе базы данных и справочника	Более 100
Реализация режимов поиска и запросов	Поиск по запросу, фильтрация по информационному полю
Привязка исходных данных	Через гиперссылки

75.2171606 ВП

Данные коэффициентов маскирования и общая информация об ИС

Производитель	Фирма «ФЭМТ» ОАО «НИИ «Дельфа»		
Номер технологической партии	63		
Дата изготовления (код даты изготовления)	2012 КТ-975А		
Тип корпуса	KT-975А		
Материал корпуса	Металло-стеклянный		
Функциональное назначение	Слововой полковой транзистор с изолированным затвором		
Доп. Информация (например емкость для памяти, и т.д.)	Тип проводимости канала: n-тип, имеет встроенный обратный смещенный диод		
Материал приборной структуры	Si		
Технология изготовления	MOSFET		
Количество контактных площадок, шт	2		
Макрочасть кристалла	нет данных		
Количество кристаллов в корпусе, шт	1		
Площадь кристалла, см ²	не измерено		
Площадь заплата металлизации, мм ²	не измерено		
Оценочная величина Кп, опп.ед.	Оценка не проводилась		
1. изображение корпуса	2. фотография кристалла		

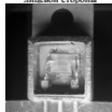



Технологические операции и рецепты подготовки к испытаниям

Декапсуляция образцов	
Проведение декапсуляции с лицевой стороны	Проведение декапсуляции с обратной стороны
да	нет

Проведение механической декапсуляции	Лицевая сторона	Обратная сторона
Установка / Метод проведения процедуры	Многофункциональный инструмент из набора криволинейных	нет данных
Режим проведения процедуры	Строчание криволинейным	нет данных
Скорость вращения инструмента, об/мин	нет данных	нет данных
Усилие (давление на инструмент), г	нет данных	нет данных
Время, мин	нет данных	нет данных

1. Результаты декапсуляции с лицевой стороны



2. Результаты декапсуляции с обратной стороны

Не проводилась

Наличие защитных слоев на кристалле (лак, и т.п.)			
да			
Материал травящего раствора			
Не установлен в ходе декапсуляции			
Источник данных о процессе и результатах декапсуляции			
ПН № 57-07/115-23			

Статистика проведения декапсуляции			
Количество декапсулированных образцов, шт	Количество годных, шт	Количество брака, %	Количество годных, %
5	5	0	100



Результаты испытаний (ОРЭ)

ИУТЭ		Результаты для ТЭ	
Количество использованных установок ТЭ	1	Тип регистрируемого эффекта	SEB/SEGR
Наименование установки	У-400	Пороговое ПИЭ, МВ/см ² /мг	менее 40,6
Количество типов волюн, для которых проводилась испытание, шт	1	Сечение напыления, см ²	нет данных
Тип регистрирующего ножа	Кг	Параметр W аппроксимации Вейбулла	нет данных
Тип определяемого параметра чувствительности	область безопасной работы	Параметр S аппроксимации Вейбулла	нет данных
		Источник данных	ПН № 57-07/115-23

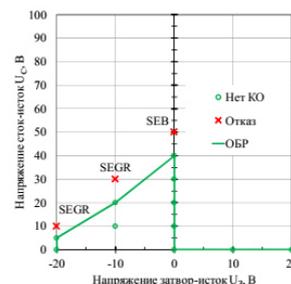


Рисунок 1 – Формат оформления страницы справочника (пример)

Пример реализации информационного запроса в базу данных представлен в таблице 3. Запрос – сформировать перечень рецептов и технологических процедур, для проведения испытаний ЭКБ с обратной стороны кристалла методом утонения кремниевой подложки прецизионной механической полировкой. Результат сформирован в виде рецептов и технологических операций с указанием наименования ЭКБ для которых аналогичные операции проводились, в том числе с представлением конечного результата утонения и будет иметь вид, представленный в таблице 3.

Таблица 3 – Пример осуществления запроса к базе данных

Наименование	Проведение механической декапсуляции	Установка / Метод проведения процедуры	Режим проведения процедуры	Количество инструментов, шт	Скорость вращения инструмента, об/мин	Усилие (давление на инструмент), гр	Время, мин
IRFL4310TRPBF	нет	ASAP-1-IPS	утонение кремния	6	2330/4000/6000	100	15+15+15
K6X4008C1F-BF55	да	ASAP-1-IPS	утонение кремния	4	2330/2330	100	15+15
OP290G	да	ASAP-1-IPS	утонение кремния	4	2330/6000	100	15+30

Важным техническим решением, разработанным в рамках проекта, является карта технологического процесса (КТП) проведения испытаний электронной компонентной базы с применением импульсных источников лазерного излучения. КТП является текстовым технологическим документом и предназначаются для операционного описания процесса испытаний ЭКБ. КТП разработана и оформлена в соответствии с требованиями ЕСТД: ГОСТ 3.1118-82 ГОСТ 3.1507-84. КТП содержит полный маршрут и перечень технологических операций – 32 ТО, с указанием требуемого технологического и испытательного оборудования, НТД, материалов, оснасток и инструментов необходимых для проведения испытаний.

ГОСТ 3.1118-82 форма 1б															
Дубл.															
Взам.															
Подл.															
													XX		
													БТВП.5020780.XXX		
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код наименования операции				Обозначение документа						
Б	Код наименования оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшм.	Тпз	Тшм.
К/М	Наименование детали, сборники или материала				Обозначение кода										
Р	Пу	В	В	L	+	i	S	N	V	To	T6				
001	№8 228 ХЛ 190 Декапсуляция образцов ЭКБ методом химического травления														
Б02	Вытяжной шкаф для работы со СДЯВ, микроскоп инспекционный МБС-10, нагревательная плита, ультразвуковая ванна														
Г03	Рег. № 8-03/XXXX/21 Типовая методика проведения декапсуляции образцов ЭКБ, раздел 11														
Т04	Лабораторная посуда, пипетки, набор пинцетов, тара ESD, кисточка ESD, маркер														
М05	Кислота азотная, серная, ацетон, спирт этиловый														
06	1. Расположить образец ЭКБ на нагревательной плите установить температуру в соответствии с разделом XXXX														
07	2. Обеспечить защиту корпуса образца ЭКБ														
08	3. Выполнить процедуру XXXXXXXX в соответствии с разделом 11 ТМ Рег. № 8-03/XXXX/21														
09	4. Удалить продукты химической реакции..., визуально убедиться...														
10	6. Высушить образец ЭКБ, удалить защитную маску														
11	7. Проконтролировать целостность визуально с применением микроскопа														
12	8. Нанести маркировку на образец или дублировать ее в случае удаления														
13	9. Проконтролировать ПКГ декапсулированного образца ЭКБ, определить его работоспособность, внести записи в журнал														
14	10. Упаковать в транспортную ESD тару, воздействия на														
15	полупроводниковый кристалл и межсоединительные траверсы образца ЭКБ исключить														
16															
МК/КТП	Карта технологического процесса														

Рисунок 2 – Образец карты технологического процесса (последовательность и сущность операций изменена и приведена в качестве примера)

Следует также обратиться к ключевым достижениям, выводам и результатам, полученным в ходе выполнения 1-го и 2-го этапов работы:

1. Разработаны типовые методики проведения испытаний ЭКБ в части одиночных радиационных эффектов – с применением двухфотонного поглощения лазерного излучения.

2. Разработаны технологии обратного процессинга (инжиниринга) для декапсуляции образцов ЭКБ и методы определения коэффициентов маскирования на основе этих технологий.

3. Создан макет испытательной установки с применением импульсного источника лазерного излучения с длиной волны $\lambda = 1,064$ мкм с возможностью непрерывного изменения длительности импульса. Характеристики лазерного излучения макетной установки представлены в таблице 4.

4. Разработаны типовые методики радиационных испытаний ЭКБ в части импульсных объемных ионизационных эффектов с применением установки с перестраиваемой длительностью импульса лазерного излучения.

Таблица 4 – Характеристики лазерного излучения макетной установки

Параметр, название характеристики	Значение
Длина волны лазерного излучения, нм	1064
Эффективная длительность импульса*, $t_{и\text{эфф}}$	Полная энергия ЛИ в импульсе*, $E_{и}$
10 нс	10 мДж, не менее
100 нс	105 мДж, не менее
1 мкс	105 мДж, не менее
10 мкс	105 мДж, не менее
Максимальная частота следования импульсов, Гц	100
Диаметр пятна лазерного излучения на объекте испытаний, мм	50



Рисунок 3 – Фотография общего вида импульсной лазерной испытательной установки PULSYS-RAD, предназначенной для испытаний ЭКБ на стойкость к воздействию ТЗЧ



Рисунок 4 – Фотография общего вида установки с перестраиваемой длительностью импульса лазерного излучения, предназначенной для испытаний ЭКБ на стойкость к импульсным ионизирующим излучениям по критерию мощности дозы

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

В 2023 году в АО «НИИП» были начаты работы по 2-х летнему проекту ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов» и был выполнен первый этап проекта.

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 установках, в частности радионуклидных автономных источников электропитания. С точки зрения воздействия «атмосферных» нейтронов проблема актуальна для систем управления в авионике, которые подвергаются воздействию повышенных потоков «атмосферных» нейтронов по сравнению с наземным уровнем, а также в наземных условиях для дата-центров, суперкомпьютеров, в которых используются большие информационные емкости запоминающих устройств.

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 $10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{с}$ максимальной энергией нейтронов до 20 МэВ. Средние плотности потока «атмосферных» нейтронов варьируются от 10 до $10^4 \text{ см}^{-2} \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{с}$ 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.

Основными задачами, поставленными в рамках этапа 2023 года проекта ЕОТП МТ-510 «Создание научно-методического обеспечения испытаний ЭКБ на воздействие ионизирующего излучения с помощью генераторов нейтронов», являлись:

- разработка и обоснование требований к методике испытаний ЭКБ на воздействие нейтронного излучения;
- разработка и обоснование требований к испытательным установкам для проведения испытаний ЭКБ на воздействие нейтронного излучения;
- разработка и обоснование требований к метрологическому обеспечению методики испытаний ЭКБ на воздействие нейтронного излучения;
- выбор репрезентативной ЭКБ для проведения исследований, разработка методов измерения параметров, задания электрических режимов и испытательной оснастки;
- разработка моделей одиночных радиационных эффектов при воздействии нейтронов на ЭКБ.

В рамках разработки и обоснования требований к методике испытаний ЭКБ были сформулированы: область применения методики, граничные значения параметров среды, определяемые показатели стойкости ЭКБ, минимальный набор экспериментов для получения универсальных характеристик изделия, таких как сечение отказов и сбоев, требования к расчетной части методики.

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 энергий в диапазоне 200-1000 МэВ, нейтроны спектра деления, а также источник нейтронов, моделирующий спектр «атмосферных» нейтронов на основе ускорителя протонов с энергией 1000 МэВ.

Было определено, что при проведении испытаний ЭКБ средства измерения полей ионизирующих излучений должны обеспечивать получение при испытаниях данных с соответствующими точностными характеристиками:

- интегральный поток нейтронов с суммарной погрешностью не более ± 20 %;
- амплитудно-временные характеристики импульсов нейтронов (формы и эффективные длительности) с погрешностью не более ± 30 %;
- неравномерность поля нейтронного излучения в установленном испытательном объеме не должна превышать 30 %.

Для проведения испытаний ЭКБ была выбрана репрезентативная ЭКБ, которая включает 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.

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.

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 электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии АО «НИИП» осуществляет свою деятельность по следующим основным направлениям:

- исследования механизмов старения (радиационного, теплового и др.) изоляционных и конструкционных полимерных материалов;
- мониторинг условий эксплуатации (температуры, радиации, других воздействующих факторов) кабелей и электрооборудования на АЭС;
- диагностика и контроль состояния кабелей и электротехнического оборудования непосредственно на объектах эксплуатации;
- сертификационные испытания кабелей и электрооборудования в части радиационного, теплового старения и внешних воздействующих факторов проектных аварий на АЭС;
- разработка технических документов, определяющих проведение диагностики, контроля состояния и управление ресурсными характеристиками элементов АЭС;
- разработка и внедрение программ по управлению ресурсными характеристиками кабелей и электрооборудования на всех этапах жизненного цикла АЭС.

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.

В рамках тематики технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии в 2023 году АО «НИИП» выполнило следующие работы в интересах атомных станций АО «Концерн Росэнергоатом»:

1. Обследование, оценка технического состояния, остаточного ресурса, обоснование возможности продления срока службы и комплексная диагностика состояния электрических машин энергоблоков №1,2,3 Смоленской АЭС

Целью работы являлась оценка фактического технического состояния и остаточного ресурса электрических машин и определения условий и возможности их функционирования в дополнительный срок эксплуатации энергоблока № 1 Смоленской АЭС.

2. Услуги по управлению ресурсом кабельных изделий на объектах использования атомной энергии. Техническое диагностирование кабельных изделий ГК-ХОЯТ Смоленской АЭС неразрушающими методами в эксплуатации для прогнозирования срока службы (ресурса)

Целью работ являлось обследование, оценка технического состояния и обоснование остаточного ресурса силовых и контрольных кабелей в рамках продления срока эксплуатации ГК-ХОЯТ Смоленской АЭС.

3. Проведение дополнительной диагностики кабелей класса напряжения 6кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена энергоблоков № 2, 3, 4 Курской АЭС.

Целью работы являлось определение технического состояния кабелей, их эксплуатационной устойчивости и прогнозирование срока их службы.

4. Проведение работ по оценке технического состояния, обоснованию остаточного ресурса и продлению срока службы кабелей цеха ТАИ на энергоблоках №3, 4 Ленинградской АЭС.

Целью работы являлось комплексное диагностирование кабельных линий цеха ТАИ неразрушающими методами контроля для мониторинга их старения в рамках реализации работ по управлению ресурсом кабелей в соответствии с требованиями НП 096-15.

5. Услуги по управлению ресурсом кабельных изделий в части оценки технического состояния силовых кабелей энергоблоков 1, 2 Кольской АЭС.

Целью работ являлось обследование, оценка технического состояния и обоснование остаточного ресурса силовых кабелей электрического цеха энергоблоков №1, 2 Кольской АЭС.

6. Услуги по управлению ресурсом кабельных изделий электрического цеха энергоблока № 3, 4 Ленинградской АЭС.

Целью работ являлось обследование, оценка технического состояния и обоснование остаточного ресурса силовых и контрольных кабелей электрического

цеха в рамках продления срока эксплуатации энергоблока № 3,4 Ленинградской АЭС.

7. Обследование, оценка технического состояния и обоснование остаточного ресурса генераторов типа СГД-16-69-6 (ст.№№ 1Г-1, 1Г2, 1Г-3) с возбудителями типа ПВ-102 (ст. № ВГ-1, ВГ-2, ВГ-3), входящих в состав дизель-генераторов 1ДГ-1, 1ДГ-2, 1ДГ-3 энергоблока № 1 Ленинградской АЭС, остановленного для вывода из эксплуатации

Целью работы являлось определение технического состояние и установление остаточного ресурса генераторов и возбудителей в составе дизельгенераторов энергоблока №1 Ленинградской АЭС.

8. Разработка Программ управления ресурсом кабельной продукции энергоблоков №1-4 АЭС «Аккую».

В рамках первого этапа выполнен анализ проектно-конструкторской, эксплуатационной документации и разработана программа управления силовых и контрольных кабелей энергоблока №1 АЭС «Аккую».

В 2023 по заказу АО «ВНИИАЭС» был выполнен заключительный этап НИР: «Исследование физико-химических свойств кабельных безгалогенных композиций в процессе проведения тепловых и радиационных ускоренных испытаний, разработка методики неразрушающего контроля состояния кабелей из полимерных безгалогенных композиций».

В рамках тематики технического диагностирования в 2023 году АО «НИИП» так же оказывал услуги по испытаниям кабелей и электротехнического оборудования на радиационную стойкость:

1. Испытания образцов датчика-реле перепада напора на радиационное воздействие для АО «ЭТМ».

2. Испытания образцов кабеля PYREX РэПнг(А)-HF 3×1,5ок(N,PE) на стойкость к воздействию гамма-излучения для ООО «НПП «Метроматика».

В 2023 году были продолжены работы по программе РТТН в рамках НИОКР «Разработка системы по управлению старением конструкций, систем и компонентов на всех этапах жизненного цикла энергоблоков АЭС в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ в части проведения испытаний материалов представительных образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС и исследование механизмов их старения». На данном этапе были получены экспериментальные данные о развитии зарождающихся дефектов в силовых кабелях среднего напряжения, о термическом старении образцов низковольтных кабелей и образцов кабельных ПВХ пластикатов, разработаны модели витковой и меж катушечной изоляции сухих трансформаторов 10 кВ, пассивных коммутационных элементов систем контроля и управления, разработаны модели старения кабельных ПВХ пластикатов и получены результаты прогнозирования срока службы низковольтных кабелей, проведены исследования старения конструкционных элементов вакуумных выключателей до 10 кВ.

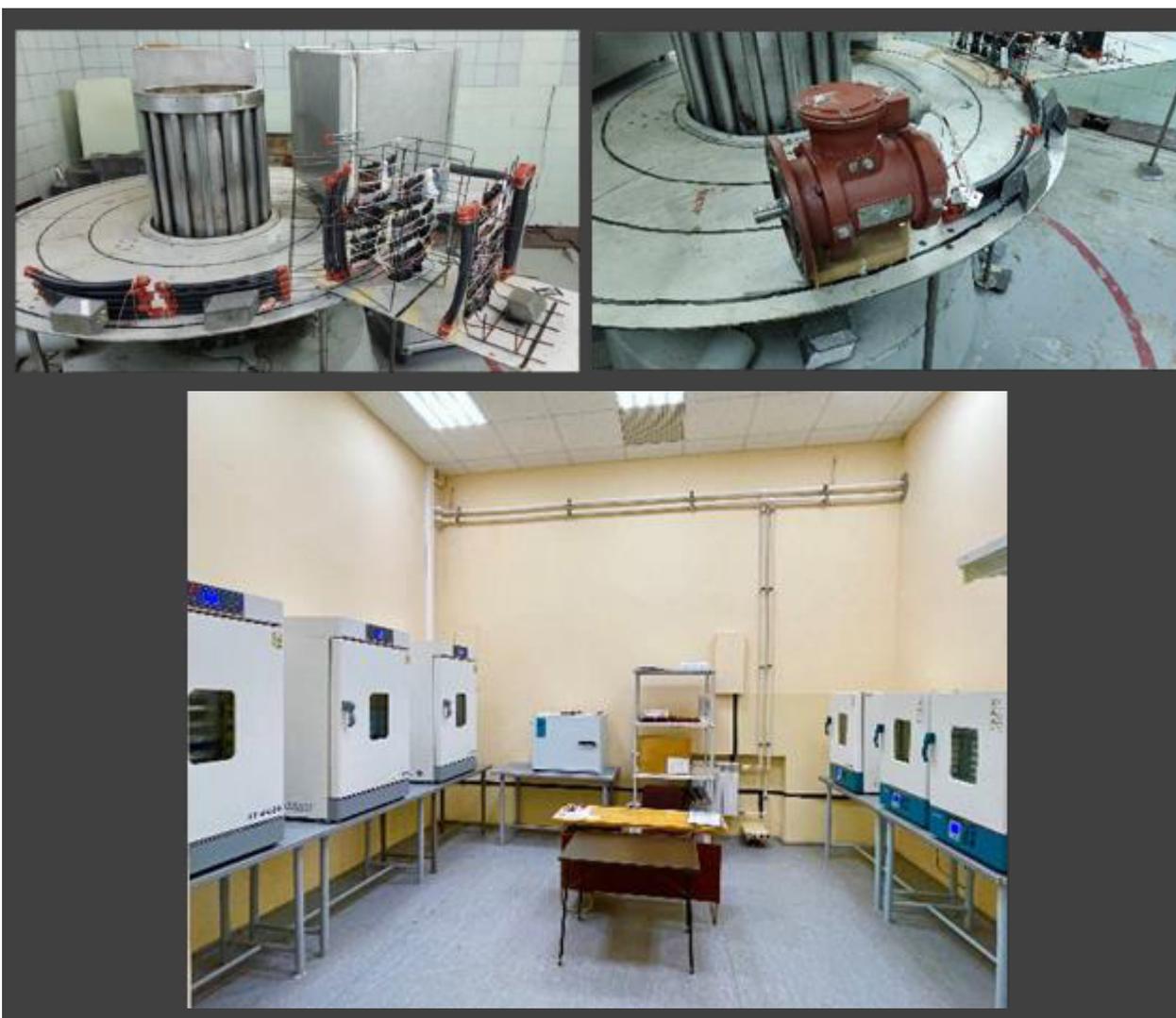
В 2023 году был выполнен второй этап работ НИР по проекту ЕОТП МТ-508 «Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей». Проведено искусственное старение в условиях повышенных температур. Получены

экспериментальные данные для исследования кинетики старения этих судовых кабелей. Разработаны модели деградации внешних полимерных оболочек низковольтных кабелей. Проведены исследования развивающихся дефектов в этиленпропиленовой изоляции судового кабеля среднего напряжения под воздействием повышенной температуры на локальном участке кабеля различными электрическими и физико-химическими методами контроля состояния.

В 2023 году были разработаны и введены в действие СТО 08624450-92-2023 «Аттестация в форме испытаний» и СТО 08624450-93-2023 «Аттестация в эксплуатации». Настоящие стандарты дополняют систему стандартов «Система оценки соответствия в области использования атомной энергии (ГОСТы серии Р 50.04....) в части электротехнического оборудования, кабельных изделий, конструкционных и электроизоляционных полимерных материалов. Стандарты определяют порядок и требования к первичной аттестации электротехнического оборудования и кабельных изделий, поставляемых на объекты использования атомной энергии в форме испытаний и определяют порядок и требования к аттестации электротехнического оборудования и кабельных изделий в эксплуатации в рамках программ управления ресурсом.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА НАПРАВЛЕНИЯ

Для проведения искусственного теплового и терморadiационного старения электротехнического оборудования и кабельной продукции в АО «НИИП» используется изотопная гамма-установка непрерывного действия ГУ-200 с кобальтовым источником и участок термокамер.



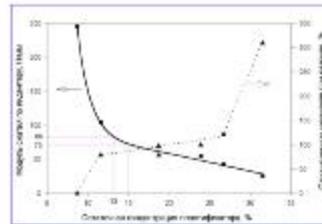
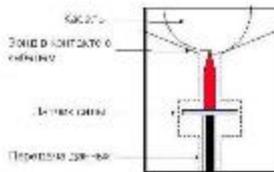
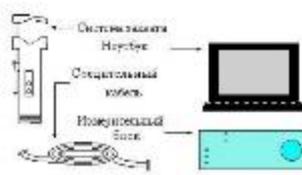
Для моделирования условий проектных аварий на объектах использования атомной энергии используется термобарокамера МТБК.



Для диагностики механических характеристик полимерных материалов непосредственно на объектах использования атомной энергии 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)

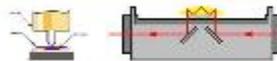
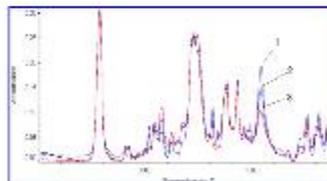
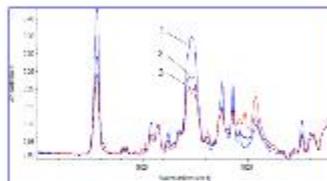
АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

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

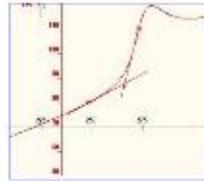
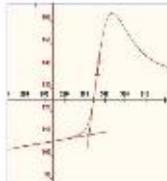


- Метод применяется для контроля степени старения различных видов кабельных полимерных материалов по интенсивности характерных полос спектра поглощения. Для работы с микрообразцами используется приставка НПВО (нарушенное полное внутреннее отражение)
- ИК Фурье спектроскопия является традиционным методом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

АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

19

Техническое диагностирование. Дифференциальная сканирующая калориметрия

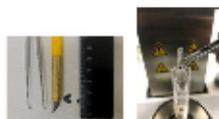
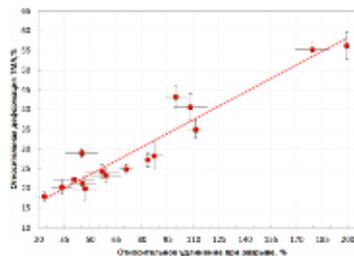


- Метод оценки степени старения полиэтиленовых изоляций /оболочек низковольтных кабелей
- Метод основан на испытании микрообразцов при повышенной температуре в ячейке дифференциального сканирующего калориметра (ДСК)
- По ТНО и ВИ косвенно определяется содержание антиоксиданта, т. е. срок службы при повышенных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

АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

18

Техническое диагностирование. Термомеханический анализ полимерных материалов

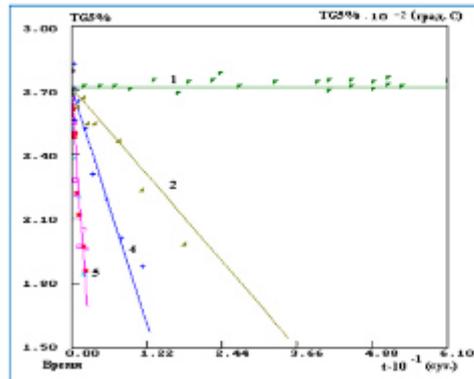
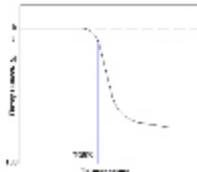


- В качестве ПС используются параметры, характеризующие изменение относительной деформации микрообразцов полимерных материалов в ячейке прибора ТМА при заданной скорости подъема температуры и давления.
- Для полимерных безгалогенных композиций используют в качестве ПС величину относительной деформации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

АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

19

Техническое диагностирование. Термогравиметрический анализ полимерных материалов



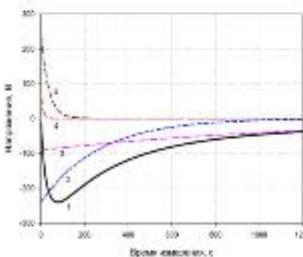
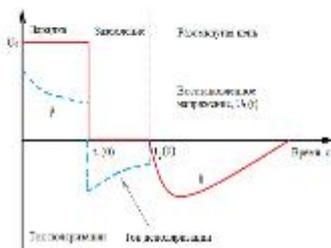
Изменение параметра TG5% в образцах из ПВХ-оболочки кабеля при разных режимах терморадикационного старения: 1 - тепловое старение при 87°C; 2 - P = 0,1 Гр/с, T = 25°C; 3 - P = 0,03 Гр/с, T = 25°C; 4 и 5 - P = 0,6 Гр/с, T = 25 и 55°C

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

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

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

Техническое диагностирование. Оценка состояния изоляции кабеля по величине восстановленного напряжения



- Метод контроля степени старения пропитанной бумажной изоляции (ПБИ) силовых кабелей
- Основан на зависимости параметров восстановленного напряжения от зарядового состояния дефектов в объеме изоляции
- Диагностическая техника: ✓ AC Tester

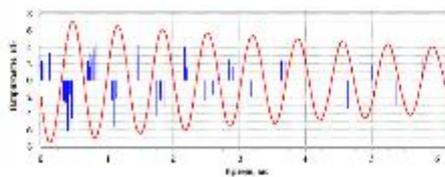
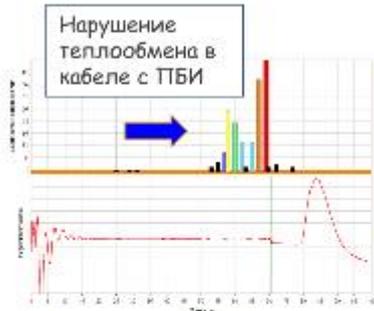
$$U_r(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)$$

$$PIRV = 10 \cdot |U_{rm}/A_+|$$

$$LIRV = 100 \cdot |U_{rm}/S_+|$$



Техническое диагностирование. Контроль развивающихся дефектов в силовых кабелях методом OWTS

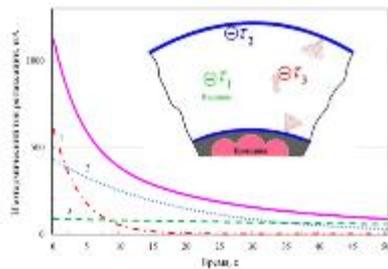


АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

- Метод контроля дефектов (микрополостей в изоляции) и их положения на кабельных трассах
- Эффективен для оценки состояния силовых кабелей с ПБИ (усушка изоляции) и СПЭ
- Диагностическая техника:
 - ✓ CPDA 15 или
 - ✓ OWTS 25

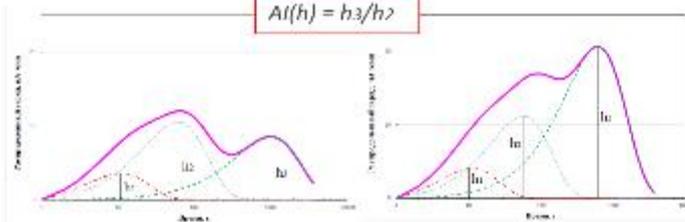
21

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



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

$$A_I(h) = h_3/h_2$$

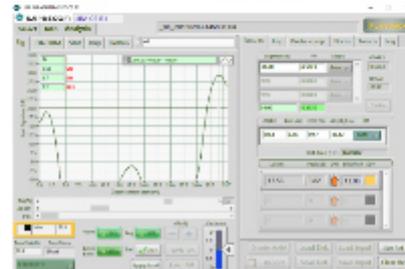


Техническое диагностирование. Частотно-резонансная рефлектометрия



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

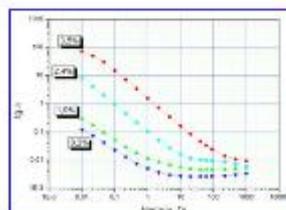
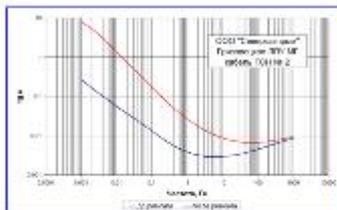
Обладает высокой чувствительностью к дефектам и неоднородностям кабельной линии. Чувствительность к емкостным дефектам составляет 5 пФ/м. Дает возможность контролировать развитие дефектов, обусловленных старением и повреждением изоляции



АО «НИИП», Управление диагностики и испытаний

25

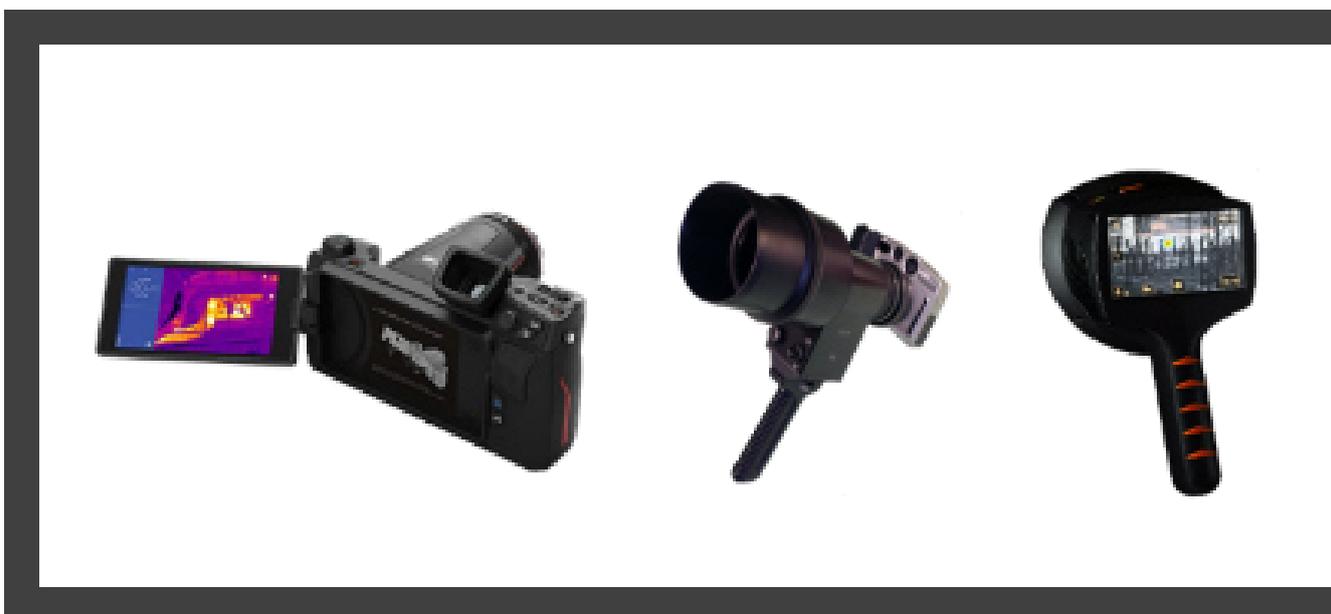
Техническое диагностирование. Частотно-дielekтрическая спектроскопия



- Метод контроля dielectricких 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 повышенной температурой) непосредственно на объектах использования атомной энергии применяется набор тепловизионных и акустических камер. Тепловизор Guide С640 Pro используется для проведения тепловизионного контроля электроустановок, электродвигателей, трансформаторов и кабелей в диапазоне от -20 °С до 800 °С. Прибор Филлин-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. 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. Фотографии приборов Guide С640 Pro, Филлин-6 и NL-камера представлены на рисунке слева направо.

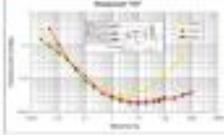


Для диагностирования мощных маслонаполненных трансформаторов непосредственно на объектах использования атомной энергии применяется:

- 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



	<p>TRANSPORT X – фотоакустический спектрометр</p>	<p>Анализ растворимых газов и влаги в масле</p>																	
			<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Вещество (г/л)</th> <th>Чувствительность</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Влага (влажность в %)</td> <td>0,0001</td> </tr> <tr> <td>Водород (г/л)</td> <td>0,0001</td> </tr> <tr> <td>Кислород (г/л)</td> <td>0,0001</td> </tr> <tr> <td>Ацетилен (г/л)</td> <td>0,0001</td> </tr> <tr> <td>Толуол (г/л)</td> <td>0,0001</td> </tr> <tr> <td>Углекислый газ (г/л)</td> <td>0,0001</td> </tr> <tr> <td>Метан (г/л)</td> <td>0,0001</td> </tr> </tbody> </table>	Вещество (г/л)	Чувствительность	Влага (влажность в %)	0,0001	Водород (г/л)	0,0001	Кислород (г/л)	0,0001	Ацетилен (г/л)	0,0001	Толуол (г/л)	0,0001	Углекислый газ (г/л)	0,0001	Метан (г/л)	0,0001
Вещество (г/л)	Чувствительность																		
Влага (влажность в %)	0,0001																		
Водород (г/л)	0,0001																		
Кислород (г/л)	0,0001																		
Ацетилен (г/л)	0,0001																		
Толуол (г/л)	0,0001																		
Углекислый газ (г/л)	0,0001																		
Метан (г/л)	0,0001																		
	<p>ИК спектроскопия</p>	<p>Определение содержания в масле антиокислительной присадки, ароматических углеводородов, продуктов старения</p>																	
	<p>Частотно-диэлектрическая спектроскопия</p>	<p>Определение содержания влаги в твердой изоляции, проводимости масла, полупроводящих отложений на обмотках и др.</p>																	
	<p>Метод частотного анализа</p>	<p>Контроль механического состояния обмоток</p>																	
	<p>Комплекс СДК-1Т, система «Веста»</p>	<p>Оценка усилия прессовки обмоток и сердечника трансформаторов</p>																	

32



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

НИОКР «Разработка системы по управлению старением конструкций, систем и компонентов на всех этапах жизненного цикла энергоблоков АЭС в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ в части проведения испытаний материалов представительных образцов электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС и исследование механизмов их старения» по программе РТТН

Целью работ 2023 года являлось получение экспериментальных данных по кинетике старения электротехнического оборудования, кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики АЭС для разработки системы управления старением конструкций, систем и компонентов на всех этапах жизненного цикла атомных станций российского дизайна с реакторной установкой (далее – РУ) водо-водяного энергетического реактора, отвечающей современным требованиям МАГАТЭ и требованиям действующих федеральных норм, правил и документов по стандартизации, обязательных к применению на территории Российской Федерации.

В процессе НИОКР проведены исследовательские испытания, в которых моделировали тепловое и терморadiационное старение при повышенных температурах и под воздействием ионизирующего излучения от гамма-источника Co^{60} . В ходе исследований контролировали изменение физико-химических свойств электроизоляционных и конструкционных материалов и параметров представительных электроизоляционных элементов на разной глубине старения. Были определены показатели состояния для оценки эксплуатационной

устойчивости и прогнозирования срока службы (ресурса) исследованных представительных электротехнических элементов.

Объектами исследования являлись электроизоляционные и конструкционные материалы, применяемые в представительных электротехнических элементах атомных станций: силовых и контрольных кабелей; электрических двигателях для запорной арматуры; комплектных распределительных устройствах; силовых трансформаторах 10 кВ; автоматических выключателях переменного тока 10 кВ; пассивных коммутационных элементов систем контроля и управления – электрических соединителей типа СН-38 и СНЦ 3М.

Исследовательские работы проводили в соответствии с техническими документами:

- Программа и методика исследования механизмов старения полимерных композиционных материалов, кабелей напряжением не выше 10 кВ с пластмассовой изоляцией и электрических двигателей под внешними воздействующими факторами (ПМИ КИПиА).
- Программа и методика исследования механизмов старения под внешними воздействующими факторами КИПиА и их электроизоляционных и конструкционных материалов (ПМИ КИПиА).
- Программа и методика исследований механизмов старения под внешними воздействующими факторами электротехнического оборудования (за исключением электрических двигателей) и их электроизоляционных и конструкционных материалов (ПМИ ЭТО).

В рамках выполнения этапов 1 и 2 в 2023 г. НИОКР был выполнен следующий комплекс ускоренных испытаний представительных электротехнических элементов и получены экспериментальные данные о кинетике старения их конструкционных и электроизоляционных материалов.

На этапе 1 работ 2023 года проведено искусственное ускоренное тепловое старение при 3-х повышенных температурах (94 °С в течении 2010 ч., 102 в течении 1640 ч. и 110 °С в течении 1100 ч.) образцов в виде двухсторонних лопаток современных ПВХ композиций двух рецептур, применяемых для оболочек 2110 п.1 и п.2 и рецептур изоляции 1110 п.1 и п.2, а именно диизоноилфталат (ДИНФ) на основе высших спиртов. Тепловое старение ПВХ пластиката с ранее использованными пластификаторами исследовали на образцах, изготовленных из кабеля марки КУГВЭВ 37×0,5. На рисунке 5 в качестве примера представлена зависимость ОУР и М оболочки кабеля марки КВВГнг-LS от времени старения при разных значениях температуры.

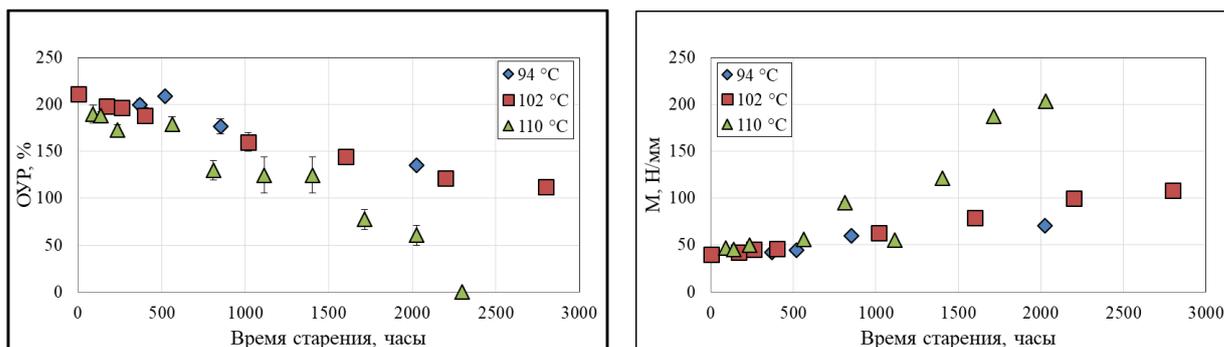


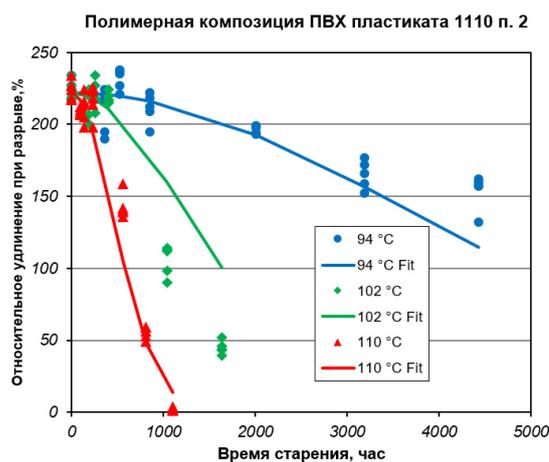
Рисунок 5 – Зависимость изменения М и ОУР в материале оболочки кабеля марки КВВГЭ нг(А)-FRLS от времени старения при разных значениях температуры

Глубину старения оценивали по относительному удлинению при разрыве образцов кабельных материалов и другим физико-химическим свойствам в соответствии с ПМИ ПКМ и ЭД. Полученные экспериментальные данные используются для контроля состояния кабелей при повышенных температурах окружающей среды на атомных станциях в рамках программ по управлению старением.

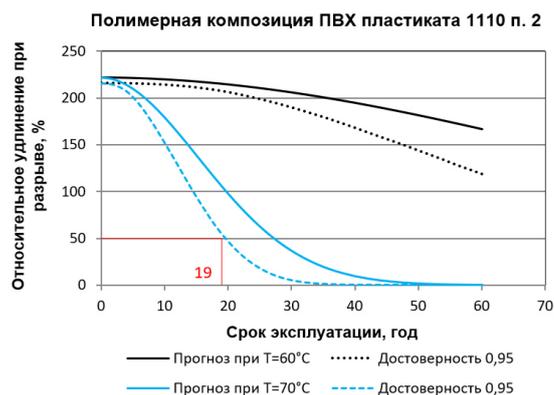
Установлено, что старение всех исследованных образцов ПВХК в температурном диапазоне вплоть до 110 °С обусловлено десорбцией пластификатора, на что указывает уменьшение концентрации пластификатора, фактическим отсутствием разрушения высокомолекулярных цепей. Процесс десорбции пластификатора наблюдается и визуально на предельно состаренных образцах в виде появления жидкой суспензии на поверхности полимера.

На этапе 2 работ 2023 года для дополнительных исследований были использованы образцы кабелей марок КВВГЭнг(А)-FRLS 37×1,5 и КВВГнг(А)-LS 37×1,5. При этом время старения при 94 °С составило 2026 ч., время старения при 102 °С составило 2200 ч., время старения при 110 °С составило 2300 ч. Образцы ПВХК рецептуры 2110 для оболочки и рецептуры 1110 для изоляции кабелей после термического старения в течение 1404 часов при температуре 110 °С и 2200 часов при температуре 102 °С разрушились, поэтому определение их механических и физико-химических характеристик сделать было невозможно.

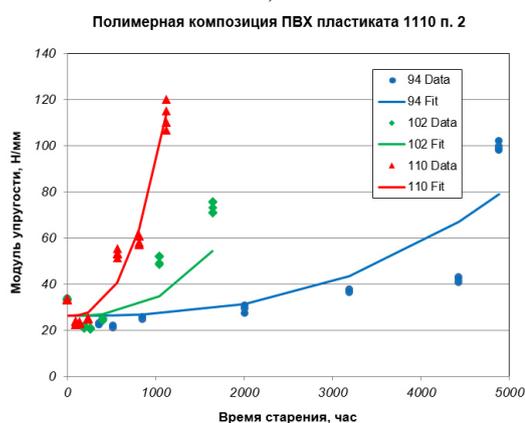
В рамках этапа 2 2023 года были разработаны модели деградации кабелей марок КВВГЭнг-FRLS, КВВГЭнг-LS, КУГВЭВ и ПВХ композиций 1110 и 2110 в условиях искусственного старения, определены параметры моделей теплового старения кабельных ПВХ пластиков по относительному удлинению при разрыве и модулю упругости. На рисунке 6 представлен пример моделирования деградации полимерной ПВХ композиции 1110.



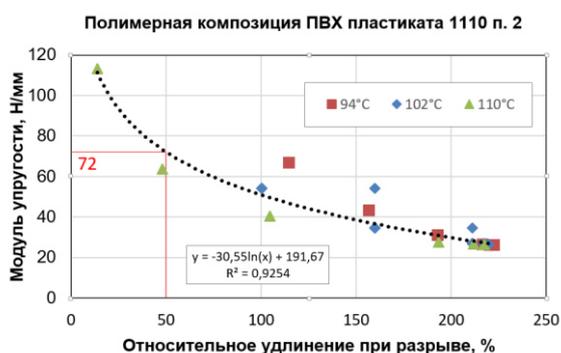
а)



б)



в)



г)

- а) зависимость относительного удлинения при разрыве от времени старения
 б) прогнозирование относительного удлинения при разрыве при температурах 60 и 70 50 °C
 в) зависимость модуля упругости при индентировании от времени старения
 г) корреляционная зависимость «М – ОУР»

Рисунок 6 – Моделирование деградации кабельной полимерная композиция ПВХ пластиката серии 1110

В 2023 году были продолжены работы этапа 2022 года по исследованию старения и моделированию локальных дефектов в полиолефиновой изоляции силовых кабелей среднего напряжения. На этапе 1 работ 2023 года для моделирования развивающегося дефекта изоляции из сшитого полиэтилена было проведено тепловое старение образца участка длиной около 1 метр силового кабеля марки АПВБП 3×50/16-6 кВ длиной 50 м при температуре 130 °C в течении 34 часов, 82 часов, 226 часов и 730 часов. На данном этапе старения наиболее высокую чувствительность показали методы:

- импульсной и частотой рефлектометрии;
- восстановленного напряжения и изометрического тока релаксации;
- измерения тангенса угла диэлектрических потерь (рисунок 7).

Сопротивление изоляции и абсорбционные характеристики, частотная диэлектрическая спектроскопия и измерение частичных разряды методов OWTS на текущем этапе старения существенных изменений не зафиксировали.

На втором этапе работ 2023 года были продолжены работы по моделированию старения под воздействием повышенной температуры на локальном участке образца кабеля марки АПвБП 3×50/16 с применением неразрушающих методов контроля, определены показатели состояния для контроля и прогнозирования срока службы. общее время теплового воздействия составило 4138 ч при 130 °С.

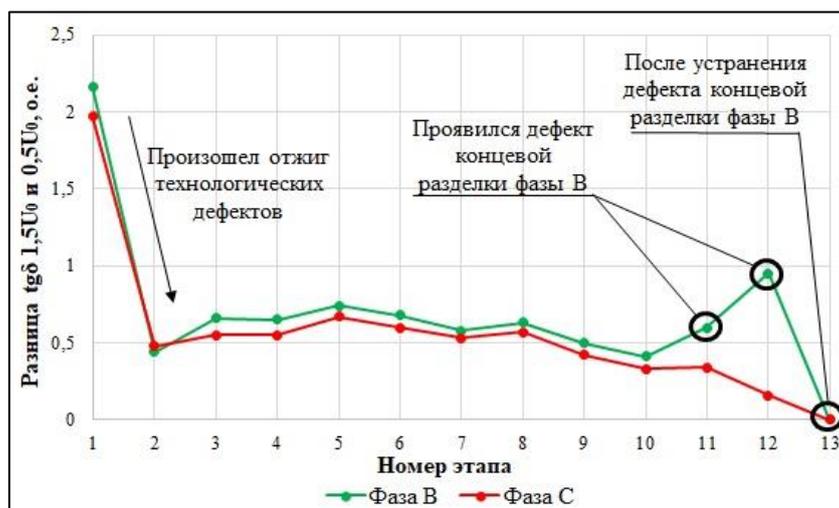
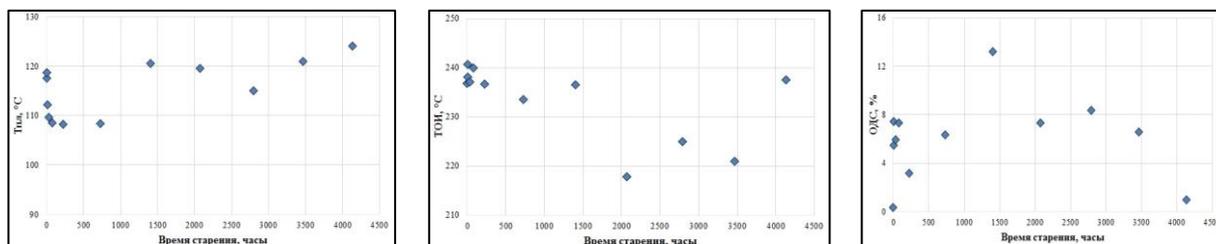


Рисунок 7 – Разница среднего значения tgδ между 1,5 U₀ и 0,5 U₀ на разных этапах старения



- а) зависимость температуры плавления от времени старения
- б) зависимость температуры окислительной индукции от времени старения
- в) зависимость остаточной деформации сжатии от времени старения

Рисунок 8 – Разница среднего значения tgδ между 1,5 U₀ и 0,5 U₀ на разных этапах старения

После каждого этапа старения проводились измерения электрических и физико-химических параметров.

Анализ полученных экспериментальных данных показал:

- после 3466 часов старения было зафиксировано значительное снижение сопротивления изоляции;

- наблюдается незначительное изменение параметров восстановленного напряжения и токов релаксации;
- измерений тангенса угла диэлектрических потерь в соответствии стандартом IEEE 400.2-2013 зафиксировал протекание поляризационных процессов в изоляции;
- температура плавления образца практически не изменяется в течение всего времени термического старения;
- анализ изменения температуры окислительной индукции установил, что в процессе старения на начальной стадии преобладают процессы, связанные с окислением и образование свободных радикалов, после 4138 ч. происходит деструкция продуктов окисления;
- относительная деформация сжатия образца при термическом старении остается практически одинаковой в течении 4138 часов.

На первом этапе работ 2023 года проводилось исследования ускоренного термического старения на 20 моделях витковой и межкатушечной изоляции сухих трансформаторов 10 кВ на основе эпоксидного компаунда и полиэтилен-терефталатной пленки марки ПЭТ-Э 35×70 толщиной 0,035 мм (рисунок 9). Начат процесс термического старения моделей витковой и межкатушечной изоляции и получены значения контрольных параметров после выдержки 120 и 240 часов.



а) витковая изоляция



б) межкатушечная изоляция

Рисунок 9 – Внешний вид моделей изоляции

В рамках первого этапа работ в 2023 года были выполнены следующие работы:

- проведены предварительные исследования термического старения моделей витковой изоляции с целью выбора и уточнения температуры термического старения (с выдержкой до 1120 ч при температуре 160 °С и до 288 ч при температуре 180 °С);

- определено пробивное напряжение моделей изоляции в исходном состоянии;

- для моделей витковой и межкатушечной изоляции достигнуто время термического старения 240 часов при температуре 155 °С и выполнены измерения контрольных параметров (при выдержке 120 и 240 ч).

В результате выполненных работ было установлено:

- в образцах, состаренных при температуре 160 и 180 °С, произошел пробой витковой изоляции в диапазоне напряжений 350 ÷ 500 В (при подъеме на ступень выдерживаемого напряжения 500 В);

- в процессе старения происходит образование трещин на поверхности эпоксидной изоляции и скачкообразное падение электрической прочности изоляции модели, сопровождающееся снижением пробивного напряжения примерно на порядок относительно исходного состояния.

При температуре 180 °С для трех из пяти образцов по достижении 168 часов старения наблюдалось резкое падение электрической прочности изоляции. Из этого можно сделать вывод, что определяющим фактором является общее время старения, а не количество циклов нагревания-охлаждения.

В 2023 году в рамках работ 2 этапа проведен завершающий этап старения образцов витковой изоляции марки и модели межкатушечной изоляции марки ПЭТ-Э 35×70 толщиной 0,035 мм.

В рамках текущего этапа НИР на момент подготовки отчета выполнены следующие работы:

- проведено ускоренное термическое старение образцов витковой и межкатушечной изоляции с выдержкой до 1200 часов включительно при температуре 155 °С;

- проведены измерения характеристик образцов после каждого цикла старения;

- определены пробивные напряжения образцов витковой изоляции после выдержки в термокамере 360, 840, 1080 и 1200 часов;

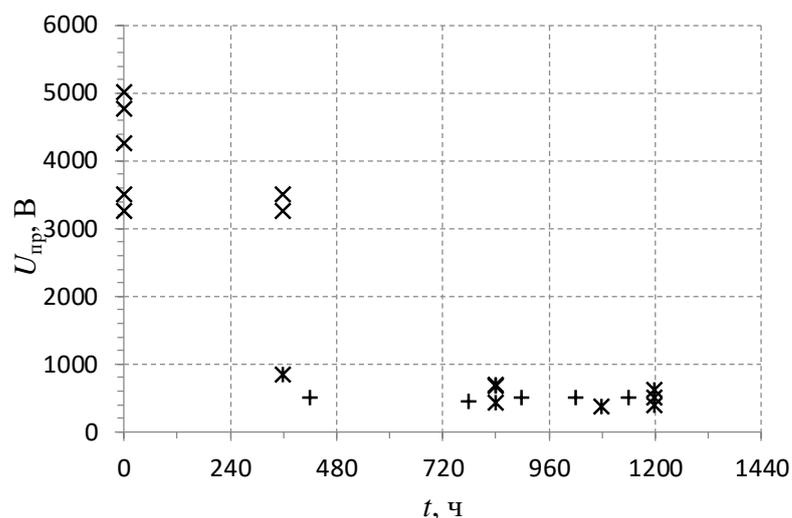
- изготовлены масштабные макеты обмоток высшего напряжения с литой изоляцией сухого трансформатора 10 кВ и проведены их контрольные испытания.

По результатам анализа данных установлено:

- для образцов витковой изоляции в процессе старения с выдержкой до 1200 ч. отмечена тенденция к снижению тангенса угла диэлектрических потерь;

- в процессе старения образцов происходит образование трещин на поверхности эпоксидной изоляции и скачкообразное падение электрической прочности изоляции модели;

- для образцов межкатушечной изоляции в процессе старения не отмечено резкого снижения электрической прочности изоляции и значимых тенденций к изменению контролируемых параметров.



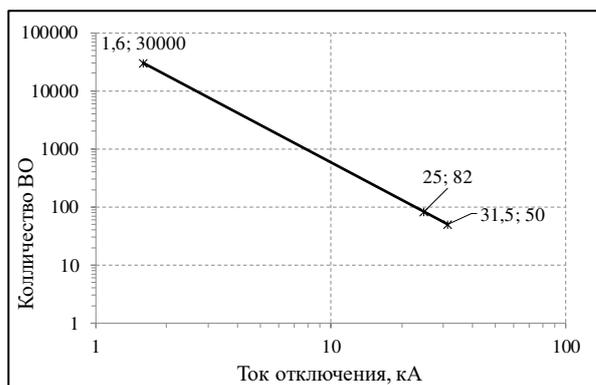
«x» – значения, полученные при определении $U_{пр}$; «*» – пробивные напряжения при подъеме первую ступень напряжения при определении $U_{пр}$; «+» – пробивные напряжения при подъеме на ступень напряжения $U_{выд}$ для контрольных моделей

Рисунок 10 – Зависимость пробивного напряжения от времени наработки на отказ образцов витковой изоляции марки ПЭТ-Э 35×70

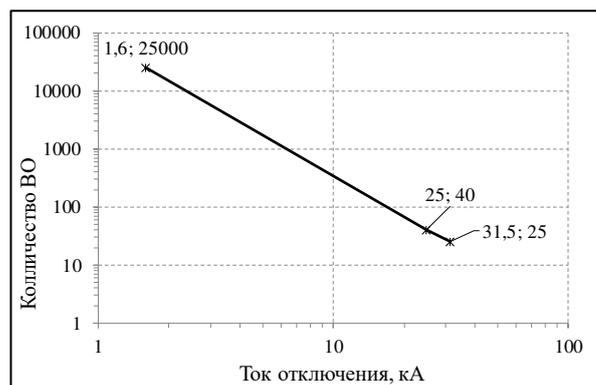
Так, по итогам исследований эпоксидного компаунда получено, что заявленный изготовителем класс нагревостойкости F по ГОСТ 8865 был установлен по критерию потери массы, в то время, как по критериям потери механической и электрической прочности, данный компаунд может быть отнесен к более высокому классу нагревостойкости (H или 200 °C).

В 2023 проведены исследования старения конструктивных элементов двух трехфазных выключателей типа 12.16.32 и ВВ-ЧЭАЗ-2-В-10-31,5-1600 напряжения 10 кВ на механическую и коммутационную износостойкость.

На втором этапе работ 2023 года были продолжены исследования вакуумных выключателей типа VD4 12.16.32 и ВВ-ЧЭАЗ-2-В-10-31,5-1600 на отключение тока короткого замыкания, равного 80%. Было определено допустимое количество циклов ВО при нагрузочных токах, равных 80% от номинального тока отключения выключателей, результаты коммутационного ресурса представлены на рисунке 11. Установлено, что для выключателя VD4 12.16.32 при запланированных к выполнению 82 циклов были успешно проведены 85 циклов включения и отключения тока с действующим значением 25 кА.



а) VD4 12.16.32



б) ВВ-ЧЭАЗ-2-В-10-31,5-1600

Рисунок 11 – Коммутационный ресурс выключателей VD4 12.16.32 и ВВ-ЧЭАЗ-2-В-10-31,5-1600

Для выключателя ВВ-ЧЭАЗ-2-В-10 были выполнены 13 из 40 запланированных циклов включения и отключения тока с действующим значением 25 кА, поскольку на 14 цикле произошел отказ привода выключателя, связанный с повреждением электродвигателя привода.

Было проведено исследование деградации материалов пассивных коммутационных элементов систем контроля и управления после моделирования их старения в течение 30 лет эксплуатации.

Испытаниям на ускоренное климатическое старение были подвергнуты 10 образцов пассивных коммутационных элементов КИПиА АЭС - соединители ручного сочленения (расчленения) СН-38, изготовленные по техническим условиям АОС.05.000ТУ, и электрические соединители СНЦ 3М, изготовленные по техническим условиям АШДК.434410.073 ТУ, бывшие в эксплуатации на втором энергоблоке Калининской АЭС в течение 30 лет. По результатам испытания подтверждено соответствие технических и функциональных характеристик образцов требованиям ТУ после моделирования старения в течение 30 лет.

На втором этапе работ 2023 года были проведены ускоренные климатические испытания образцов соединителей типа СН-38 и СНЦ 3М, моделирующие 10 лет эксплуатации в условиях АЭС, на тех же образцах, которые ранее прошли испытания, моделирующие 30 лет эксплуатации. В общей сложности указанные образцы подверглись ускоренным климатическим испытаниям, моделирующим 40 лет эксплуатации. Выявлены тенденции изменения технических характеристик в зависимости от времени моделирования старения образцов соединителей.

Результаты выполненных работ актуальны для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации оборудования КИПиА атомных станций с реакторной установкой ВВЭР-1200 и будут использованы при разработке системы по управлению старением КСК на всех этапах жизненного цикла энергоблоков АЭС.

В 2023 году были продолжены работы по ускоренному радиационному старению представительных электродвигателей (марки 4АС71А4А5, рисунок 12)

запорной арматуры для исследования радиационного старения термореактивной изоляции обмоток статоров и прогнозирования состояния электродвигателей в эксплуатации на атомных станциях.



Рисунок 12 – Электродвигатели марки 4AC71A4A5

Целью работ данного этапа являлось исследование старения термореактивной изоляции обмоток электродвигателей, выполненных в 2022 году. Тепловое старение проводили при повышенной температуре 190°C, радиационное старение проводили при мощности поглощенной дозы гамма излучения от источника Co^{60} 475 Гр/час, на промежуточных этапах старения контролировали состояния термореактивной изоляции по всей его траектории с применением чувствительных неразрушающих методов.

В рамках работ по исследованию теплового и радиационного старения ЭД запорной арматуры с термореактивной изоляцией обмоток статора были выполнены следующие работы:

- проведено ускоренное тепловое старение электродвигателей в течение 334 часов при температуре 190 °С до точек 768 и 910 часов старения. На каждом этапе старения проводили измерения электрических параметров;
- проведено радиационное старение изоляции обмоток статора ЭД, набрана величина поглощенной дозы радиации 145 Гр, данные приведены на рисунке 13. С учетом предыдущих этапов общая величина поглощенной дозы радиации составила 263 Гр.

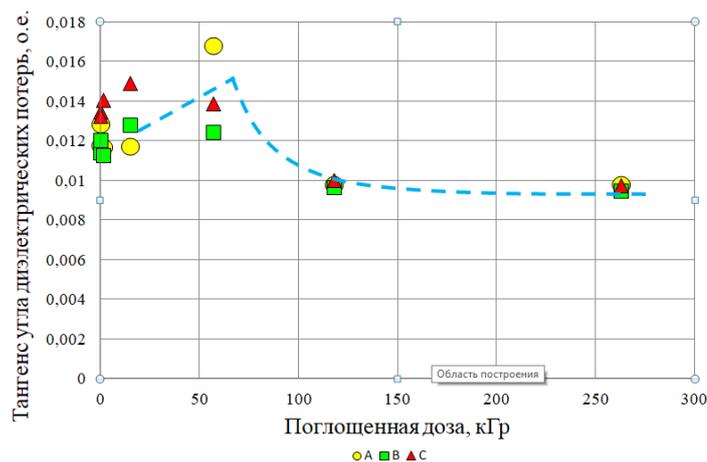


Рисунок 13 – Средняя величина тангенса угла диэлектрических потерь на частоте 2 Гц от дозы облучения для ЭД 25

При анализе зависимостей следует отметить возрастание величины максимума восстановленного напряжения от величины поглощенной дозы радиации, как показано на рисунке 14, что связано с образованием объемных дефектов. С другой стороны, после дозы 118 кГр, наблюдается снижение контролируемых параметров что связано с перераспределением дефектов в объеме изоляции. Для достоверной оценки траектории старения, необходимо получить дополнительные данные по ходу радиационного старения. В связи с чем принято решение о необходимости в последующих этапах продолжить старение до следующей точки 300 кГр.

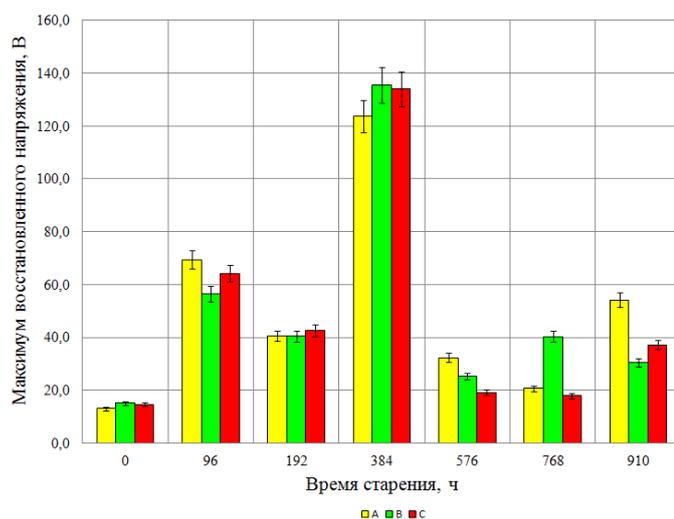


Рисунок 14 – Зависимость максимума восстановленного напряжения для ЭД 26 от времени термического старения

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

В 2023 году был завершён второй этап проекта ЕОТП МТ-508 НИР «Исследование эксплуатационной устойчивости судовых кабелей».

Судовые кабели представляют собой отдельный класс кабельных изделий. Они обладают повышенной гибкостью и выполняют свои функции под воздействием ряда эксплуатационных факторов, которые не учитываются при проектировании общепромышленных кабелей или других специальных кабелей.

Показатели состояния (ПС), ресурсные характеристики (РХ) и научно-обоснованные методы неразрушающего контроля и прогнозирования состояния судовых кабелей с полимерной изоляцией и оболочкой в настоящее время не определены и не разработаны. Решение этих задач возможно только на базе исследований эксплуатационной устойчивости представительных судовых кабелей.

Для исследовательских испытаний было отобрано 8 образцов низковольтных кабелей длиной около 30 см марок КМПВ 10×1,5, КМПВнг-LS 10×1,5, КНР 10×1,5, МРШН 12×1,5, НРШМнг-НФ 10×1,5, НРШМ 3×50, СПОВнг-БГО 12×1,5 и СПОВнг-FRHF 7×1,5. В качестве объектов проведения терморadiационного старения были выбраны образцы кабелей СПОВнг-БГО 12×1,5 и СПОВнг-FRHF 7×1,5. Образцы подвергались воздействию ионизирующего гамма-излучения от источника Co^{60} на установке ГУ-200 в период с 02.02.2023 г. по 01.11.2023 г. при температурах 30, 45 и 60 °С. Предполагаемые мощности поглощенных доз терморadiационного старения образцов были выбраны: при температуре 30 °С – 0,15, 0,05 и 0,015 Гр/с; при температурах 45 и 60 °С – 0,15 Гр/с.

Общий вид расположения термостатов и образцов в рабочей камере установки ГУ-200 представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Расположение термостатов относительно облучателя

В рамках проекта получены экспериментальные данные для исследования кинетики старения этих судовых кабелей. На рисунке 16 в качестве примера приведена зависимость модуля упругости при индентировании (М) и относительного удлинения при разрыве (ОУР) от времени старения при разных значениях температур для кабеля НРШМнг-НФ 10х1,5.

В искусственных испытаниях кабелей низкого напряжения определяли кинетику теплового и терморadiационного старения и деградацию их внешних оболочек. Оценка состояния таких кабелей определяется степенью деградации внешних полимерных оболочек. Оценку деградации проводили на основе измерения физико-химических свойств, используя: ИК Фурье спектроскопию, измерения ОУР, измерение модуля упругости при индентировании, ДСК, ТМА. Температуры старения образцов с оболочками кабелей из ПВХ пластиката и с резиновыми оболочками составляли: 94, 102, 110 °С, для образцов с оболочками, изготовленными из ЭВА композиций температурный режим испытаний был расширен, были добавлены температуры старения 140 и 150 °С.

Для каждого типа полимерной оболочки определена энергии активации в процессе теплового старения, что открывает возможность для долговременного прогнозирования состояния низковольтных кабелей при повышенных температурах эксплуатации при условии измерения начальных величин ОУР и идентификации типа оболочек. Получены модели старения для ОУР и М, что в свою очередь дает возможность контролировать как состояние, так и прогнозировать срок службы кабеля при различных окружающих температурах эксплуатации. На рисунке 17 представлен пример моделирование показателей состояния в процессе теплового старения кабеля КМПВнг-LS 10х1,5.

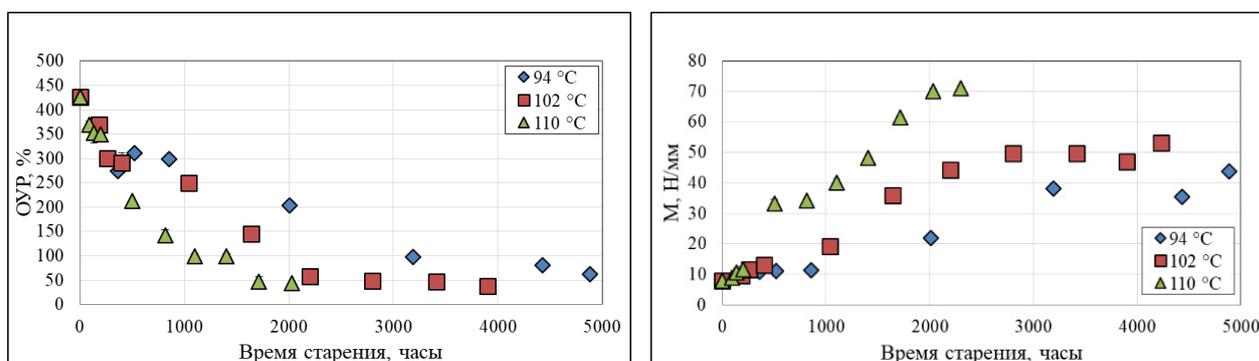
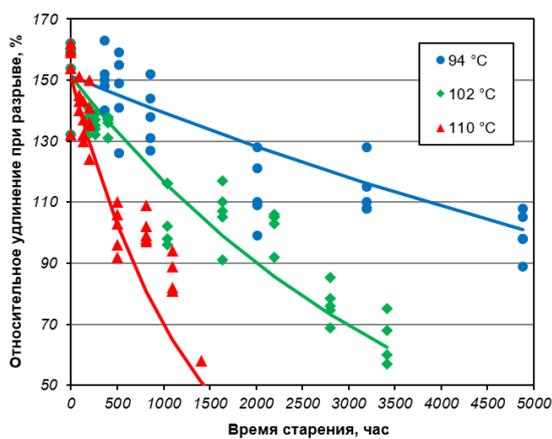
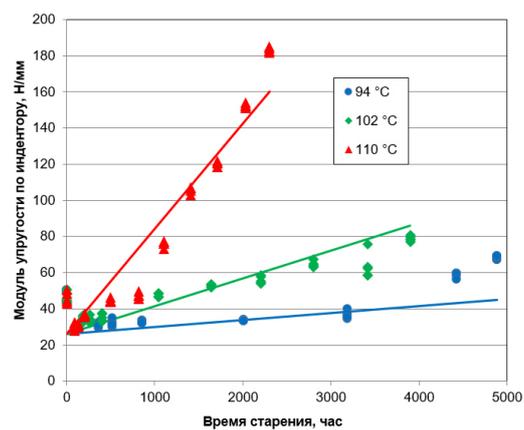


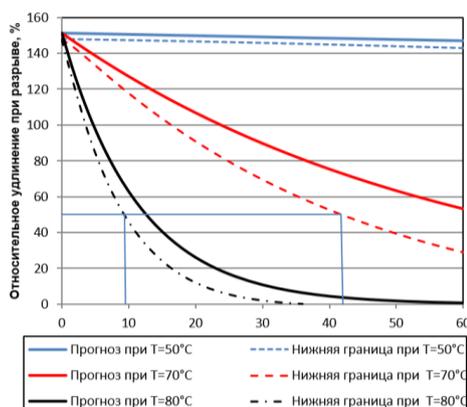
Рисунок 16 – Зависимость ОУР и модуля упругости при индентировании материала оболочки кабеля марки НРШМнг-НФ 10х1,5 от времени старения при разных температурах



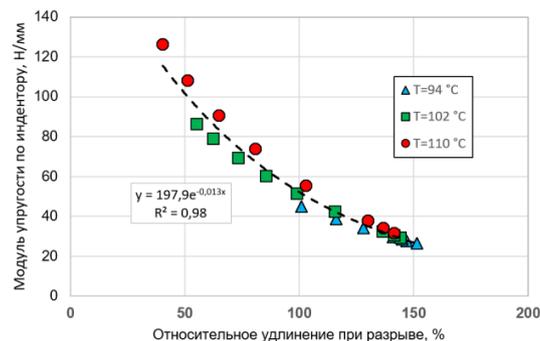
а)



б)



в)



г)

а) Зависимость ОУР от времени старения

б) Зависимость модуля упругости от времени старения

в) Экспериментальная и прогнозируемая зависимость ОУР от срока эксплуатации

г) Зависимость модуля упругости от ОУР.

Рисунок 17 – Моделирование показателей состояния внешней оболочки кабеля в процессе теплового старения на примере образца КМПВнг-LS10×1,5

В рамках проекта проведены исследования развивающихся дефектов в этиленпропиленовой изоляции судового кабеля среднего напряжения. В качестве объектов для исследования выбран силовой кабель марки РвРнг(А)-НФ 1×25/16-10, изготовлены два образца длиной 60 метров и 3 метра (образцы-свидетели). Был произведен отжиг технологических дефектов изоляции (кондиционирование) при температуре 70 °С в течение 7 суток. Тепловое старение при температуре 130 °С проводили на участке длиной 1 метр, на расстоянии с 30 м по 31 м от одного из концов образца силового кабеля в течении 3012 ч. После каждого этапа старения проводились измерения электрических параметров и физико-химических свойств. Степень старения изоляции силового кабеля контролировали по методике ТОИ и представлено на рисунке 18.

Проведены исследования развивающегося дефекта в этиленпропиленовой изоляции судового кабеля среднего напряжения марки РвРнг(А)-НФ 1×25/16-10 под

воздействием повышенной температуры 130 °С в течении 2064 часов на локальном участке кабеля различными электрическими методами. Степень старения изоляции контролировали по величине температуры окислительной индукции (ТОИ), определяемой в образце свидетеле. Глубина старения достигла предельного значения по показателю ТОИ (концентрация антиоксиданта достигла предельных значений), вместе с тем, существенных изменений электрических параметров изоляции не было зафиксировано.

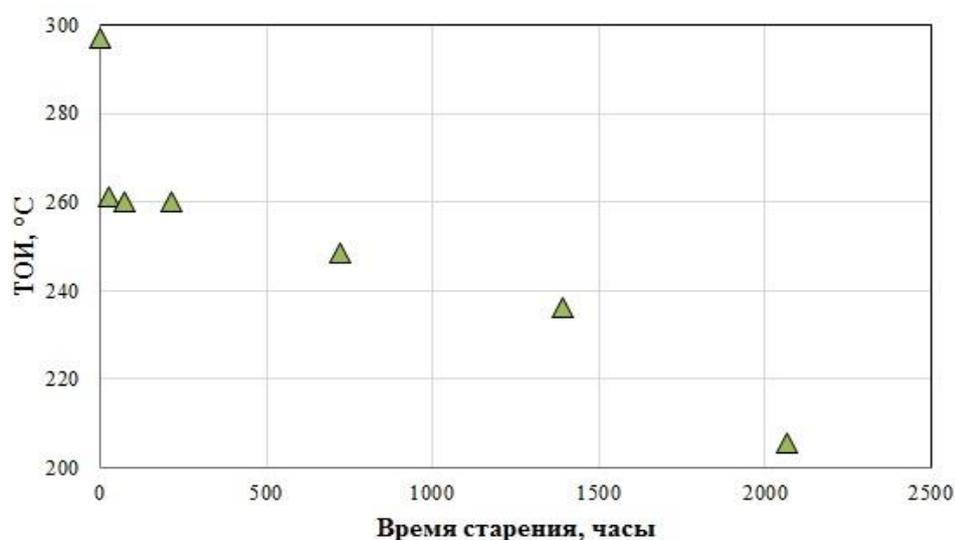


Рисунок 18 – Зависимость ТОИ от времени старения при 130°C

Для достижения основной цели и задач проекта в рамках второго этапа были следующие работы:

- изготовлены представительные образцы кабелей;
- проведены испытания представительных образцов кабелей и определены физико-химические и механические свойства кабельных ПМ в исходном состоянии;
- проведено искусственное тепловое старение представительных образцов кабелей для имитации естественного старения в эксплуатации
- проведено искусственное терморadiационное старение представительных образцов кабелей для имитации естественного старения в эксплуатации;
- проведены испытания представительных образцов кабелей после искусственного теплового и терморadiационного старения;
- разработаны модели деградации кабелей в условиях искусственного старения;
- проведены патентные исследования на определение патентной чистоты и выявление охраноспособных РИД.

Анализ полученных исследовательских данных показал:

- что рецептуры оболочечного ПМ основаны на трех полимерных композициях: пластифицированном ПВХ пластикате, маслостойкой резины на основе хлоропренового каучука и этиленвинилхлорида. Изоляция силового кабеля изготовлена на основе этиленпропиленовой резины. Вывод сделан на основе анализ спектров ИК Фурье поглощения.

- что при изготовлении кабелей нарушается технология их изготовления. В нескольких кабелях относительное удлинение при разрыве внешней оболочки ниже, чем заявлено в ТУ или ГОСТ на них. Один из кабелей был забракован из-за дефектной внешней оболочки, толщина которой была неоднородной и в некоторых местах ее толщина составляла менее 1 мм.

- что в объеме ПМ оболочки в двух кабелях наблюдается наличие сильной неоднородности распределения входящих в состав примесей. Для этих кабелей отсутствовала «четкая» зависимость ОУР от степени старения; наблюдалась просто тенденция уменьшения ОУР с увеличением уровня старения.

- что кабель марки СПОВнг-БГО 12×1,5 обладает высокой эксплуатационной устойчивостью. Для этой марки кабеля можно пренебречь как тепловым, так радиационным старением на судах в течение максимального заявленного проектом срока службы, равного 40 годам.

V. ПРОИЗВОДСТВО МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ БЕСТИГЕЛЬНОЙ ЗОННОЙ ПЛАВКИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

Монокристаллический кремний, выращенный методом бестигельной зонной плавки, является на сегодняшний день одним из ключевых материалов, применяемых в производстве полупроводниковых приборов силовой электротехники и фотоники.

На его основе изготавливают:

- диоды;
- тиристоры;
- полупроводниковые ИК-фотоприемники;
- IGBT и SFRD модули.

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

Основные конкурентные преимущества АО «НИИП»:

- производство высокочистого, бездислокационного, монокристаллического кремния методом БЗП в слитках и пластинах, в том числе нейтронно-трансмутационно-легированного фосфором (НТЛ);
- производство монокристаллического кремния в соответствии с требованиями технических условий и с учетом требований заказчика;
- производство и реализация высокоомных марок кремния (БДМ, КБО).

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.

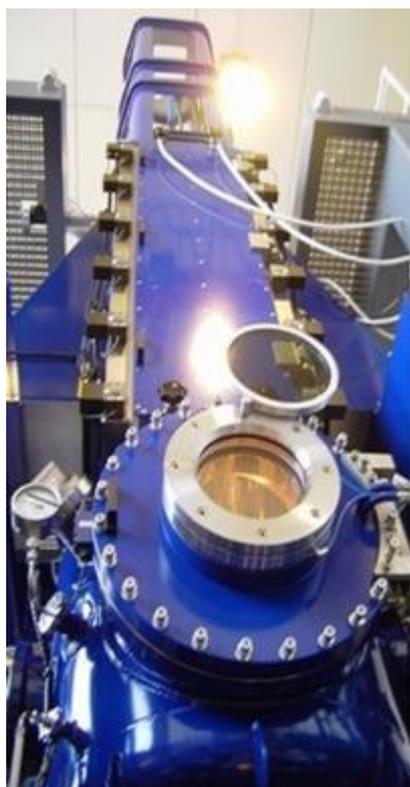


Рисунок 19 - Фотографии, иллюстрирующие процесс выращивания слитков монокристаллического кремния методом БЗП

Реализую стратегия технического перевооружения производства монокристаллического кремния в 2023 году была сформирована производственная программа по выпуску высокоомных кремниевых марок.

В рамках поэтапной проработки смены концепции проекта по модернизации кремниевого производства, были проведены мероприятия по переоснащению и модернизации участка производства кремниевых пластин с развитием производственной возможности в части двухсторонней полировки кремниевых пластин в заданный номинал с параметрами, представленными в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры производимых в АО «НИИП» кремниевых пластин

Диаметр пластин, мм	76
Отклонение диаметра от номинального значения, мм	±0,5
Ориентация поверхности, град	(111) 0±2
Длина базового среза, мм	20-25
Ориентация базового среза, град	параллельно плоскости (110) 0±3
Толщина пластин, мкм	650 ⁻³⁰
Метод обработки фаски	по копиру
Тип проводимости	P
Удельное сопротивление, Ом*см	12000-16000
Время жизни ННЗ, мкс, не менее	500
Разнотолщинность (TTV), мкм	≤15
Полировка	двусторонняя
Качество рабочей поверхности: количество царапин длиной до 400 мкм и шириной до 10 мкм	≤5
количество светлых точек в темном поле микроскопа при увеличении 200 ^x	≤9
шероховатость, мкм	≤0,05
Шероховатость нерабочей стороны, мкм	≤0,1
Количество сколов размером не более 0,15 мкм по периметру	≤10
Общая длина исчезающих рисок на каждой стороне пластины	≤1 диаметра, не более 3 штук

Одним из основных событий в 2023 году стало заключение Государственного контракта с Минпромторгом Российской Федерации на ОКР «Сфера» на разработку и создание отечественной установки для выращивания бездислокационных монокристаллов кремния с диаметрами до 105 мм методом бестигельной зонной плавки. Реализация вышеуказанной ОКР позволит провести переоснащение технически и морально устаревшего зарубежного ростового оборудования на участке по выращиванию монокристаллов кремния и обеспечит безусловное выполнение работ по производству и поставке высокоомного кремния для фотоприемных устройств и детекторов.

VI. НОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Проект ЕОТП ВНЕ-506 «Разработка многоцелевых детекторов для контроля дозы ионизирующего излучения на основе микроэлектронных структур типа MNOS и SONOS»

В 2023 году был завершен проект ЕОТП ВНЕ-506 «Разработка многоцелевых детекторов для контроля дозы ионизирующего излучения на основе микроэлектронных структур типа MNOS и SONOS». Цель данной работы заключалась в создании полнофункциональных полноразмерных образцов многоцелевых детекторов для контроля дозы ионизирующего излучения на основе микроэлектронных МДП-структур.

Принцип действия такого детектора основан на преобразовании энергии ионизирующего излучения, поглощенной в слое диэлектрика, в изменение электрических характеристик МДП-транзистора. Радиационная чувствительность детектора на основе МДП-транзистора характеризуется величиной изменения напряжения на затворе МДП-транзистора при фиксированном токе стока на единицу поглощенной дозы.

Достоинствами детекторов на основе МДП-транзисторов являются:

- миниатюрность (размер полупроводникового кристалла менее 1×1 мм);
- экономичность (работает в микроамперном диапазоне токов и диапазоне напряжений от единиц до нескольких десятков вольт);
- простота считывания и обработки информационного сигнала, что определяет простоту и небольшие габариты дозиметрической аппаратуры;
- возможность работы в режиме прямопоказывающего электронного дозиметра, т.е. детектор может показывать накопленную дозу в данный момент времени (наиболее распространенные термолюминесцентные детекторы, используемые для аналогичных измерений, в таком режиме работать не могут).

Детектор на основе транзистора с затворной системой типа MNOS имеет ряд важных преимуществ по сравнению с другими МДП-транзистором. Во-первых, на

границе раздела $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ захватывается 100 % радиационно-индуцированных дырок, избежавших начальной рекомбинации, что увеличивает радиационную чувствительность детектора и обеспечивает лучшую линейность. Во-вторых, за счет надежной изоляции границы $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ от проводящих областей транзистора (металл (или поли-Si) и Si) в детекторах на основе MNOS-транзисторов практически отсутствует «феддинг».

В рамках проекта ЕОТП ВНЕ-506 были разработаны и изготовлены полнофункциональные полноразмерные образцы детекторов дозы ионизирующего излучения на основе МНОП-транзисторов с радиационной чувствительностью детекторов составляет от 4 мВ/Гр(Si) до 80 мВ/Гр(Si), позволяющие измерять поглощенную дозу ионизирующего излучения в диапазоне от 0,2 Гр(Si) до 10 кГр(Si). Детекторы устанавливаются в стандартный корпус интегральной микросхемы. Фотография детекторов в 16-и выводном корпусе интегральной микросхемы представлена ниже.

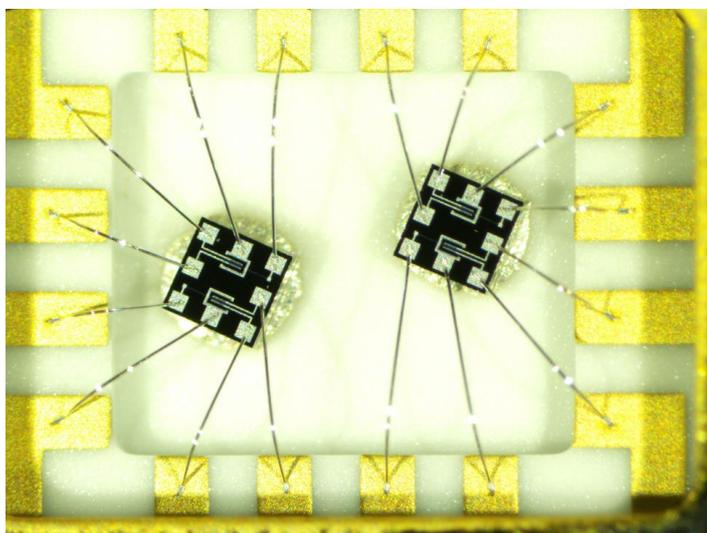


Рисунок 20 – Фотография образцов детекторов дозы ионизирующего излучения на основе МНОП-транзисторов в корпусе интегральной микросхемы

Задачи, поставленные в техническом задании для реализации проекта, были выполнены в полном объеме и с надлежащим качеством. Разработанные детекторы на основе МДП-транзисторов будут применяться в медицине для контроля дозы, полученной пациентом в сеансах «лучевой» терапии при лечении онкологических заболеваний (*in vivo* дозиметрия), в космической технике для контроля дозовых нагрузок на радиоэлектронное оборудование смешанных полей электронного, протонного и фотонного излучений на борту космических аппаратов, а также в других областях техники для решения различных задач, связанных с измерением и контролем интегральной дозы ионизирующего излучения.

Проект ЕОТП ВНЕ-507 «Разработка полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений»

В 2023 году был завершен проект ЕОТП ВНЕ-507 «Разработка полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений». Целью данной работы являлась разработка макета полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента с прямым преобразованием ионизационных потерь частиц и счетным режим регистрации.

В основе последних поколений пространственно-чувствительных детекторов для регистрации ионизирующих излучений (матричных детекторов) лежат различные типы детекторов, представляющих собой линейки (1D) или матричные структуры (2D) из отдельных сенсоров (пикселей). Матричные (2D) детекторы заняли особое место благодаря их возможности получения изображений, как при просвечивании объектов пучками частиц, так и в исследованиях пространственных распределений самих полей излучения.

В зависимости от поставленных задач используются два принципиально отличных способа (режима работы) регистрации ионизирующих излучений. При очень больших плотностях потока частиц, когда технические возможности не позволяют регистрировать их по отдельности и измерим только интегральный эффект от энергетических потерь частиц в объеме детектора, то используется термин аналоговый режим работы. Координатные детекторы, работающие в таком режиме, довольно широко распространены в мире и являются сравнительно недорогими приборами для повседневных задач, широко используются в рентгеновской аппаратуре в медицинской диагностике и промышленной дефектоскопии.

Когда потоки относительно не велики, то используют счетный режим регистрации, а реализующие такой режим детекторы часто называют квантовыми. Важнейшим свойством квантовых детекторов (счетного режима регистрации) является принципиальная возможность измерения энергии отдельных частиц, а, следовательно, получения энергетического спектра потоков ионизирующего излучения. Современное научное и промышленное приборостроение широко использует такие квантовые детекторы, включая их возможности анализа энергетических спектров. Прежде всего такие детекторы находят применение в аппаратуре рентгенолюминесцентного анализа для промышленности (геология, нефтедобыча, металлургия, материаловедение, ювелирная отрасль и так далее) и научных исследованиях (от биомедицинских, клинических исследований до космических миссий).

Разработанный в рамках проекта монолитный матричный чувствительный элемент состоит из чувствительной матрицы фотодиодов со слоем собственной проводимости (т.н. р-і-п-структура), усилителей сигнала и системы дешифрации. Р-і-п-фотодиоды на кремнии способны эффективно регистрировать гамма-кванты с энергиями от 4 до 20 кэВ, преобразуя энергию кванта в ток силой порядка 100-1000 нА. Линейные усилители соответствующих строки и столбца переводят токовый сигнал в логический уровень напряжения, которое поступает на дешифраторы – таким образом, в каждый момент времени на выходе микросхемы формируется двоичный код с адресом засвеченного матричного элемента (пикселя). В результате устройство позволяет не только обнаружить попадание фотона на чувствительную матрицу, но и определить место попадания с точностью до размера пикселя.

В рамках работ по проекту был разработан технологический процесс изготовления полнофункционального полноразмерного монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений; разработана конструкторская документация эскизного проекта на тестовые образцы монолитной интегральной схемы и полноразмерный полнофункциональный монолитный матричный чувствительный элемент, изготовлены тестовые экспериментальные образцы монолитной интегральной схемы, изготовлены полноразмерные полнофункциональные образцы монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений.

Основные характеристики разработанных и изготовленных полноразмерных полнофункциональных образцов монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Основные характеристики полноразмерных полнофункциональных образцов монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений

Параметр	Значение
Шаг пикселей, мкм	14
Размер пикселей, мкм	15×15
Общее число пикселей, шт.	1048576
Энергетическое разрешение, кэВ	3,5±0,5
Минимально регистрируемая энергия фотонов, кэВ	4
Максимально регистрируемая энергия фотонов 7 кэВ, %	90-95
Максимально регистрируемая энергия гамма квантов 20 кэВ, %	28-32
Минимально разрешимая контрастная деталь, мкм	5
Временное разрешение, нс	6-8

На рисунке 21 представлена фотография изготовленной пластины с кристаллами тестовых чувствительных матриц монолитного матричного чувствительного элемента.



Рисунок 21 – Фотография изготовленной пластины с кристаллами тестовых чувствительных матриц

На рисунках 22 и 23 представлены фотографии независимого детектирующего сегмента полнофункционального полноразмерного монолитного матричного чувствительного элемента и полнофункционального полноразмерного образца монолитного матричного чувствительного элемента в сборке.

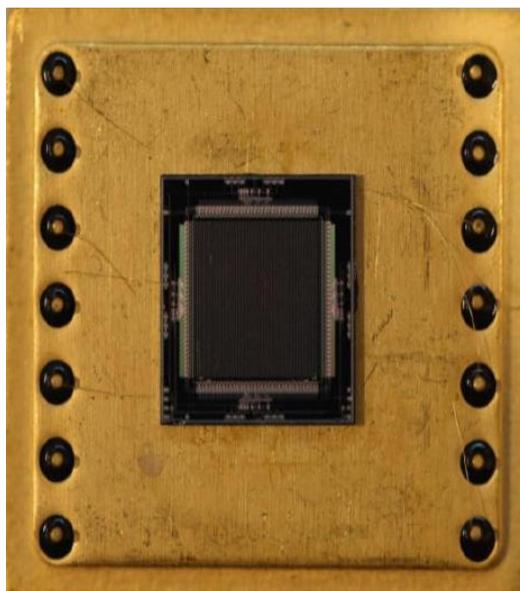


Рисунок 22 – Фотография независимого детектирующего сегмента полнофункционального полноразмерного монолитного матричного чувствительного элемента

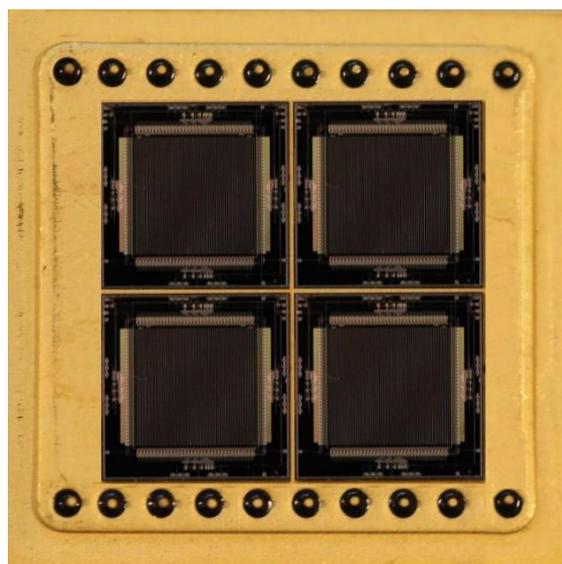


Рисунок 23 – Фотография полнофункционального полноразмерного образца монолитного матричного чувствительного элемента

Задачи, поставленные в техническом задании для реализации проекта, были выполнены в полном объеме и с надлежащим качеством. Разработанные монолитные матричные чувствительные элементы найдут свое применение в квантовых координатных детекторах ионизирующих излучений в ядерном приборостроении и ядерной медицине (включая аппаратуру для медико-биологических исследований), в аппаратуре для рентген-флуоресцентного анализа, а также научных исследованиях.

Проект ЕОТП МТ-509 «Разработка технологий выращивания эпитаксиальных структур арсенида галлия из жидкой фазы и изготовления GaAs *p+-pin-n+* пластин диаметром 76 мм для силовых диодов с напряжением до 1200 В»

В 2023 году был завершен проект ЕОТП МТ-509 «Разработка технологий выращивания эпитаксиальных структур арсенида галлия из жидкой фазы и изготовления GaAs *p+-pin-n+* пластин диаметром 76 мм для силовых диодов с напряжением до 1200 В». Целью настоящего проекта было изготовление установок для проведения LPE-процессов и разработка технологической документации для выращивания эпитаксиальных структур из жидкой фазы *p+-pin-n+* GaAs пластин диаметром 76 мм для силовых диодов с напряжением до 1200 В.

Для выполнения целей проекта были изготовлены следующие технологические установки:

- «LPE-pin» установка;
- «LPE-n+» установка;
- «LPE-накатная» установка;
- установка контроля дефектности полупроводниковых пластин и структур.

В рамках проекта были проведены испытания технологической линии выращивания эпитаксиальных структур LPE-GaAs из жидкой фазы GaAs *p+-pin-n+* пластин диаметром 76 мм для силовых диодов.

В рамках проекта были изготовлены образцы и проведены испытания образцов эпитаксиальных структур LPE GaAs из жидкой фазы GaAs *p+-pin-n+* пластин диаметром 76 мм для силовых диодов.

В рамках проекта была разработана рабочая технологическая документация выращивания эпитаксиальных структур LPE-GaAs из жидкой фазы GaAs *p+-pin-n+* пластин диаметром 76 мм для силовых диодов, включающая в себя:

- 1) технологические маршруты по ГОСТ 3.1001-2011;
- 2) операционные карты по ГОСТ 3.1001-2011;
- 3) технологические инструкции для всех рабочих мест по изготовлению LPE-GaAs *p+-pin-n+* пластин по ГОСТ 3.1001-2011.

В ходе проекта были освоены:

- 1) электрооптический метод для контроля местоположения и толщины *i*-области в диодной пластине;
- 2) C-V-метод для контроля профиля легирования LPE-GaAs *p+-pin-n+* пластин;
- 3) метод Холла для контроля подвижности электронов;
- 4) масс-спектрокопия для контроля примесного кремния;

5) DLTS метод для контроля концентрации и энергии активации рекомбинационных центров.

Выполнение проекта позволяет создать в АО «НИИП» опытную лабораторию по производству пластин GaAs с выращенным эпитаксиальным слоем для приборов силовой электроники с рабочими температурами до 250 °С и напряжением до 1200 В.

Проект ЕОТП МТ-611 «Носимая система терморегулирования человеческого тела с высоким показателем автономности»

Целью настоящей работы является разработка и изготовление полнофункциональных полноразмерных образцов носимой системы терморегулирования человеческого тела с высоким показателем автономности.

Разрабатываемая в данной НИОКР система терморегулирования человеческого тела относится к носимой электронике и предназначена для вспомогательной, автономной и активной терморегуляции. Назначение системы терморегуляции – поддержка и стабилизация постоянного значения температуры тела, то есть при гипотермии (снижении температуры тела относительно нормальной) повышать теплообразование и снижать теплопотери, а при гипертермии (повышении температуры тела относительно нормальной), напротив, усиливать теплообмен с окружающей средой и снижать теплообразование. Система активной терморегуляции позволяет расширить возможности человека при работе в экстремальных условиях климата, а также в специальной одежде с высокими изолирующими характеристиками, необходимыми для выполнения профессиональных обязанностей.

Существует ряд различных подходов к организации децентрализованного охлаждения. Наиболее распространенные и часто встречающиеся подходы включают испарительное охлаждение, использование фазовых материалов, расширение сжатых газов (по принципу эффекта Ранка-Хилша и Джоуля-Томсона), термоэлектрическое охлаждение или технологию сжатия паров. Среди перечисленных технологий наиболее перспективными считаются системы парокompрессии, что обусловлено длительным временем работы, высокой производительностью, высокой эффективностью и относительно небольшой массой системы. В данной НИОКР основное внимание уделяется разработке компонентов для использования в миниатюрных парокompрессионных системах.

Основными требованиями к системе терморегулирования являются:

- распределённые по телу человека теплообменные поверхности;
- использование активной системы управления в зависимости от температуры тела и окружающей среды;
- обеспечение регулируемой комфортной температуры тела человека в диапазоне от 20 до 40°С при температуре окружающей среды от минус 50°С до плюс 50°С.
- автономность: в течение не менее 24 часов;
- комбинирование 2 способов активного охлаждения (жидкостного и воздушного);
- эргономический дизайн системы, позволяющий не влиять на физиологические функции организма человека;

- запись, анализ и передача данных о температуре тела и других физиологических показателях человека;
- общий вес системы в сборе не более 3 кг.

Для достижения цели НИОКР поставлены следующие задачи:

1. Изготовление и испытания опытного образца микрокомпрессора для терморегулирования человеческого тела;
2. Изготовление и испытания опытного образца микронасоса для терморегулирования человеческого тела;
3. Изготовление и испытания полнофункционального полноразмерного образца системы терморегулирования человеческого тела со всеми входящими в него системами:
 - теплообменники для системы терморегулирования (конденсатор и испаритель);
 - управляющее устройство для системы терморегулирования;
 - контактные теплообменники для системы терморегулирования;
 - вентиляторы для системы терморегулирования.

В рамках данной НИОКР в 2023 году выполнены следующие работы:

- проведены патентные исследования на уровень техники и тенденции развития;
- разработаны исходные технические требования к системе терморегулирования человеческого тела;
- произведен расчет холодильного цикла. В качестве теплоносителя для данной системы использовалась вода, в качестве хладагента – r134a. Была получена логарифмическая диаграмма холодильного цикла, определены точки состояния для определения и проектирования основных компонентов системы охлаждения, определены диаметры трубопроводов для холодильного цикла;
- разработана эскизная конструкторская документация на микрокомпрессор и микронасос для системы терморегулирования человеческого тела;
- изготовлены опытные образцы микрокомпрессора и микронасоса для системы терморегулирования человеческого тела;
- проведены испытания и подтверждены характеристики опытных образцов микрокомпрессора и микронасоса для системы терморегулирования человеческого тела;
- разработана эскизная КД на полнофункциональный полноразмерный образец системы терморегулирования человеческого тела со всеми входящими в него системами;
- изготовлен полнофункциональный полноразмерный образец системы терморегулирования человеческого тела со всеми входящими в него системами;
- разработано программное обеспечение для контроллера системы управления. Программа написана на языке Delphi FMX под операционную систему Android для управления по Bluetooth аппаратной частью проекта. Интерфейс

приложения выполнен в виде графического интерфейса для Android устройств с сенсорным экраном;

- проведены испытания полнофункционального полноразмерного образца системы терморегулирования человеческого тела со всеми входящими в него системами. Полнофункциональный полноразмерный образец системы терморегулирования успешно прошел испытания, подтвердив требуемые рабочие характеристики. Экспериментально установлено, что система терморегулирования способна обеспечить регулируемую комфортную температуру тела человека в диапазоне от 20 до 40°C при температуре окружающей среды от минус 50°C до плюс 50°C. При этом время автономной работы системы составляет 45 часов. Благодаря оснащению системой управления возможно осуществлять запись, анализ и передача данных о температуре тела и других физиологических показателях человека. Масса полнофункционального полноразмерного образца составила 2,9 кг;

- проведены патентные исследования на патентную чистоту и патентоспособность результатов работ.

Таким образом, задачи, поставленные в техническом задании реализации этапа 1 НИОКР «Носимая система терморегулирования человеческого тела с высоким показателем автономности» выполнены в полном объеме.



Рисунок 24 – Иллюстрация полнофункционального полноразмерного образца системы терморегулирования человеческого тела

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 2023 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 2023 году приведен ниже.

ВЫПУСК 1

Пилипенко А.С., Илларионова И.А., Тихонов М.И. Алгоритм оценки показателей стойкости ИС при воздействии импульсного гамма-нейтронного излучения

Чумаков А.И., Бобровский Д.В., Смолин А.А., Титовец Д.О., Яненко А.В., Дианков С.Ю., Чумаков К.А., Герасимчук О.А. Моделирование сбоев в ИС при импульсном нейтронном воздействии. Часть 3. Область средних интенсивностей

Ткачев О.В., Дубровских С.М., Кустов А.С., Иванова И.А. Влияние температуры эксплуатации на выходную мощность облучённого нейтронами лазерного диода при различных схемах подключения

Коновалов А.А., Дубровских С.М., Ткачёв О.В. Распространение фронта фотообесцвечивания в протяжённых оптических средах при вариации параметров стимулирующего оптического излучения

Протопопов Г.А., Чубунов П.А., Скоркин И.В. Пересчет показателей стойкости ЭКБ к воздействию ТЗЧ для реальных условий эксплуатации

Бусыгина И.А., Лойко Ю.С., Москвич П.В., Кириллов А.В. К вопросу о возможности продления срока эксплуатации средств измерений динамических характеристик импульсного тормозного излучения по окончании их назначенного срока эксплуатации

ВЫПУСК 2

Зинченко В.Ф., Семочкин А.С., Сидоренко И.Е., Булгаков Н.Н. Расчетно-экспериментальная методика определения области безопасной работы мощных МОП-транзисторов при воздействии тяжелых заряженных частиц космического пространства

Комбаев Т.Ш. Методика проектирования радиационной защиты в средах трехмерного моделирования

Пилипенко А.С. Экспериментальная оценка сечений одиночных сбоев в различных функциональных блоках микроконтроллеров при воздействии быстрых нейтронов

Ткачев О.В., Кустов А.С., Грядобитов В.С., Ипполитов И.Н., Тихонов М.И. Исследование тиристорного эффекта в СОЗУ при воздействии нейтронов энергии 14 МэВ с вариацией напряжения питания и температуры

Герасимов В.Ф., Азовцев Е.А., Болдырев М.А., Давыдов Г.Г., Дианков С.Ю., Курьяков Р.А., Романов Б.С., Чуков Г.В. Стойкость кабельных изделий к воздействию специальных факторов и рекомендации по заданию и подтверждению требований

Герасимов В.Ф., Болдырев М.А., Морозов Н.В. Стойкость литиевых и литий-ионных химических источников тока к воздействию специальных факторов и рекомендации по заданию и подтверждению требований

ВЫПУСК 3

Пузанов А.С., Бибикова В.В., Забавичев И.Ю., Кузнецов С.Н., Потехин А.А., Серов С.Д., Оболенский С.В. Локально-неравновесная диффузионная модель ионизационной реакции полупроводниковых структур при воздействии тяжелых заряженных частиц и сфокусированных лазерных импульсов пикосекундной длительности

Протопопов Г.А., Чубунов П.А., Скоркин И.В. Применение лазерного излучения для уточнения характеристик стойкости ЭКБ к воздействию ТЗЧ КП

Арзамасцева Д.М., Петров А.С., Таперо К.И. Влияние предварительного гамма-облучения на деградацию мощных *n*-МОПТ при воздействии электростатического разряда

Санжаревский Д.А., Труфанов А.Н., Труфанов С.А. Исследование радиационной стойкости фотопреобразователей на основе гетероструктур GaAs/GaAlAs, GaAs/GaInAs

Санжаревский Д.А., Труфанов А.Н., Труфанов С.А. Радиационно стойкие фототиристорные структуры на основе GaAs

Ткачев О.В., Кустов А.С., Грядобитов В.С., Новикова С.В. Тиристорный эффект в СОЗУ при воздействии одиночного импульса напряжения и нейтронов

Гизов В.О., Коновалов А.А., Ткачев О.В., Дубровских С.М. Модель реакции протяженной оптоволоконной линии на импульсное воздействие ионизирующего излучения

Эльяш С.Л., Селезнев А.А., Юрьев А.Л. Измерение энергетического спектра электронного излучения субнаносекундного ускорителя

ВЫПУСК 4

Таперо К.И., Петров А.С. Проблемные вопросы оценки радиационной стойкости солнечных батарей космического применения

Яковлев М.В. Одиночные радиационные эффекты в элементах электроники

Яковлев М.В. Граничные эффекты радиационной электризации диэлектрических материалов

Рябцева М.В., Чуянова Е.С., Бадурин И.В., Логинова Е.С., Вагапова Н.Т., Петров А.С., Сергеев О.С., Таперо К.И., Арзамасцева Д.М. Исследование радиационной стойкости современных фотоэлектрических преобразователей на основе Si

Ткачев О.В., Грядобитов В.С., Кустов А.С. Влияние просадки напряжения питания СОЗУ на сечение одиночных сбоев при импульсном нейтронном воздействии

Комбаев Т.Ш., Артемов М.Е. Определение локальных поглощенных доз в местах расположения бортовой аппаратуры космического аппарата для исследования системы сатурна

Мещуров О.В., Усеинов Р.Г. Результаты апробации бортовой системы дозиметрического контроля в наземных условиях

В рамках проведения 26-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 90 работ. С 2021 года данный сборник индексируется в системе Российского индекса научного цитирования – РИНЦ. Сборник распространяется среди участников конференции.

VIII. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

6-7 июня 2023 г. АО «НИИП» в соответствии с Планом проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2023 год провел 26-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию «Радиационная стойкость электронных систем» - «СТОЙКОСТЬ-2023».

В работе конференции приняли участие 217 человек из 43 организаций и 20 городов России. В Программу конференции вошли 118 докладов, в том числе 27 устных и 91 стендовый доклад, представленных специалистами ведущих отечественных научно-исследовательских институтов, предприятий оборонных отраслей промышленности, Академии наук, Высшей школы, а именно: АО «ЭНПО СПЭЛС», Филиал АО «ОРКК» - «НИИ КП», АО «Российские космические системы», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», НИИСИ РАН, ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», АО «НПО Лавочкина», АО «НПП «Пульсар», ФГБУ «46 ЦНИИ» МО РФ, ПАО «ПНППК», НИИЯФ МГУ, АО «НПП «Квант» и других.

На конференции были представлены доклады по следующим основным 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.

По итогам конференции выпущен сборник тезисов докладов конференции «Стойкость-2023». Высокий уровень представленных докладов и обмен научной информацией по широкому спектру вопросов науки и техники в рамках тематики

конференции дали представление о новых результатах разработок и исследований в области обеспечения радиационной стойкости.

Участники отметили высокий организационный и научно-технический уровень конференции и рекомендовали оргкомитету решение организовать и провести 27-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию «Стойкость-2024» 4-5 июня 2024 года.



3-6 июля 2023 г. АО «НИИП» в соответствии с Планом проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2023 год провел 17-ю Научную школу-семинар «Методы оценки и обеспечения радиационной стойкости изделий электронной техники» – «Радиационная стойкость» имени В.Н. Улимова - 2023. Мероприятие было проведено в отеле «Маринс Парк», г. Нижний Новгород.

В работе школы-семинара приняли участие 100 человек из 36 организаций и 18 городов России. В программу школы-семинара вошли 13 лекций по наиболее актуальным вопросам физики радиационного воздействия на электронную компонентную базу и радиоэлектронную аппаратуру, а также на материалы, применяемые в электронике и электротехнике. Лекции были представлены специалистами ведущих отечественных научно-исследовательских институтов, а именно: АО «НИИП», АО «НИИ КП», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», ОИЯИ.

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

Оргкомитет школы-семинара принял решение организовать и провести 18-ю Научную школу-семинар «Радиационная стойкость-2024» имени В.Н. Улимова в г. Нижний Новгород 1-4 июля 2024 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Список публикаций сотрудников АО «НИИП» за 2023 год

1. Бусыгина И.А., Лойко Ю.С., Москвич П.В., Кириллов А.В. К вопросу о возможности продления срока эксплуатации средств измерений динамических характеристик импульсного тормозного излучения по окончании их назначенного срока эксплуатации // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2023. Вып. 1. С. 38-42.
2. Земцов А.Э. Сравнение деградации МОП-структур в зависимости от режима и мощности гамма облучения // 78-е Дни науки студентов НИТУ «МИСиС»: сб. тезисов. Москва, 2023, 8 февраля - 24 мая.
3. Шарапов А.А. Применение статистического анализа значений амплитуд ионизационных откликов для оценки сечения одиночных радиационных эффектов в аналоговых схемах // 78-е Дни науки студентов НИТУ «МИСиС»: сб. тезисов. Москва, 2023, 8 февраля - 24 мая.
4. Емельянов В.В., Петров А.С., Баньковский М.В. Потеря заряда в оксидно-полупроводниковых танталовых конденсаторах при воздействии импульсного ионизирующего излучения // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 92-93.
5. Арзамасцева Д.М., Петров А.С., Таперо К.И. Механизм деградации мощных n-МОПТ при воздействии электростатического разряда после предварительного гамма-облучения // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 94-95.
6. Земцов А.Э., Петров А.С., Таперо К.И. Сравнительные исследования деградации n-канального МОП-транзистора при воздействии поглощенной дозы статического и импульсного ионизирующего излучения // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 96-97.
7. Арзамасцева Д.М., Емельянов В.В., Петров А.С., Шарапов А.А. Совершенствование расчетно-экспериментальной методики учета влияния формы импульса при испытаниях изделий ЭКБ на установках АО «НИИП» // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 98-99.
8. Петров А.С., Емельянов В.В., Таперо К.И., Петров М.С. Сравнение различных методов моделирования эффектов низкой интенсивности в биполярных операционных усилителях // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 100-101.
9. Емельянов В.В., Матюхина Е.П., Нестеренко А.Е., Сиделев А.В. Модель накопления радиационно-индуцированных зарядов в затворной системе МНОП-транзистора // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 102-103.
10. Шарапов А.А., Ватуев А.С., Емельянов В.В., Шорыгина А.Д., Козлов А.А. Измерение размера пучка лазерного излучения установки PULSYS-RAD // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 104-105.
11. Усеинов Р.Г., Шарапов А.А., Емельянов В.В., Зебрев Г.И., Родин А.С. Модели для вычисления сечений ОРЭ в ЭКБ от нейтронов различного энергетического спектра: спектр деления, 14 МэВ, атмосферные нейтроны // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 106-107.

12. Шарапов А.А., Ватуев А.С., Емельянов В.В., Шорыгина А.Д., Козлов А.А. Особенности применения источников сфокусированного лазерного излучения для исследования SEB эффекта в полевых HEXFET транзисторах // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 108-109.

13. Мещуров О.В., Усеинов Р.Г. Результаты апробации бортовой системы дозиметрического контроля в наземных условиях // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 110-112.

14. Усеинов Р.Г., Зебрев Г.И. Модель для вычислений сечений ОРЭ от нейтронов с учетом технологического масштабирования цифровых ИС // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 113-114.

15. Усеинов Р.Г. Расчет дозы от электронного излучения Sr90-Y90 в критических материалах изотопного источника электропитания // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 115-116.

16. Бусыгина И.А., Москвич П.В., Наумов П.Ю., Салахутдинов Г.Х. Система для проверки методов регистрации импульсного рентгеновского излучения // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 117-118.

17. Бусыгина И.А., Москвич П.В., Наумов П.Ю., Салахутдинов Г.Х. Методы регистрации высокоинтенсивного импульсного рентгеновского излучения с применением термолюминесцентных детекторов // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 119-120.

18. Абрамов А.И., Алексеев И.А., Кириллов А.В., Котляр И.В. Климатико-механический комплекс. Назначение, оборудование и его возможности для проведения испытаний различной продукции // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 121-122.

19. Алексеев И.А., Кириллов А.В., Гирко А.Б., Тулисов Е.В., Мавлюдов Т.Б., Москвич П.В., Бусыгина И.А. Оптимизация конструкции инжекторного узла ускорителя ЛИУ-10 // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 123.

20. Белоусов С.В., Каляманова Я.Э., Кононенко А.И., Слабоус Р.В., Степанов А.А., Тевризов Н.С., Циканин А.Г. Эффекты радиационного и терморadiационного воздействия в безгалогенных полимерных композициях, применяемых при изготовлении кабелей для атомных станций // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 124-125.

21. Шорыгина А.Д., Ватуев А.С., Козлов А.А. Опыт проведения испытаний мощных полевых транзисторов на стойкость к воздействию статического ионизирующего излучения с применением автоматизированных измерений // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 126-127.

22. Ватуев А.С., Емельянов В.В., Озеров А.И., Шарапов А.А. Лазерная установка с перестраиваемой длительностью импульса для оценки стойкости ИЭТ к воздействию импульсных ионизирующих излучений // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 128-129.

23. Абрамов А.И., Иващенко Д.М., Кириллов А.В., Кочергин В.В. Возможности модернизации генератора Маркса установки УИН-10 для повышения технических

характеристик // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 130-131.

24. Сиделев А.В. Разработки АО «НИИП» в области детекторов ионизирующего излучения // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 132-133.

25. Леготин С.А., Сиделев А.В., Юрчук С.Ю., Хрущев Н.С. Определение оптимальных параметров ячейки матричного чувствительного элемента детектора рентгеновского излучения // 26-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2023»: сб. тезисов. Лыткарино, 2023, 6-7 июня. С. 134-135.

26. Arzamastseva D.M., Petrov A.S., Tapero K.I. Influence of Preliminary Gamma Irradiation on Degradation of Power n-MOSFETs due to Electro-Static Discharge // The 5th International Conference on Radiation Effects of Electronic Devices - ICREED 2023: proceedings. Kunming, China, 2023, May 24-27.

27. Арзамасцева Д.М., Петров А.С., Таперо К.И. Влияние предварительного гамма-облучения на деградацию мощных n-МОПТ при воздействии электростатического разряда // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2023. Вып. 3. С. 19-22.

28. Таперо К.И., Петров А.С. Проблемные вопросы оценки радиационной стойкости солнечных батарей космического применения // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2023. Вып. 4. С. 5-12.

29. Рябцева М.В., Чуюнова Е.С., Бадурин И.В., Логинова Е.С., Вагапова Н.Т., Петров А.С., Сергеев О.С., Таперо К.И., Арзамасцева Д.М. Исследование радиационной стойкости современных фотоэлектрических преобразователей на основе Si // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2023. Вып. 4. С. 24-30.

30. Мещуров О.В., Усеинов Р.Г. Результаты апробации бортовой системы дозиметрического контроля в наземных условиях // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2023. Вып. 4. С. 41-47.

31. Земцов А.Э., Арзамасцева Д.М., Петров А.С., Таперо К.И. Сравнение деградации МОП-структур при импульсном и статическом гамма-облучении // НАНОИНДУСТРИЯ. 2023. Т. 16, № S9-2 (119). С. 527-529.

32. Петров А.С. Воздействие ионизирующих излучений на вакуумные коммутирующие устройства // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2023. № 9. С. 22-24.

33. Voevodkin G.S., Ryabtseva M.V., Badurin I.V., Vagapova N.T., Tapero K.I., Petrov A.S., «Improved Method for Radiation Degradation Studying of Concentrated Solar Radiation Converter Subcells Based on AlIBV/Ge Compound // AIP Conf. Proc., vol. 2549, issue 1, 20 July 2023, 050003.

34. Болотина Д.И., Кононенко А.И., Померанцев А.Л., Циканин А.Г. Моделирование теплового старения кабельной полимерной композиции на основе этиленвинилацетата // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2023. № 6. С.30-37.

35. Шарапов А.А., Ватуев А.С., Емельянов В.В. Учет расходимости сфокусированного лазерного пучка при оценке параметров чувствительности к одиночным радиационным эффектам // РОССИЙСКИЙ ФОРУМ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2023, сб. тезисов.