

НАУЧНЫЙ
ГОДОВОЙ
ОТЧЕТ
АО «НИИП»
за 2025 год

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборов»

Лыткарино 2026



НИИП
РОСАТОМ

НАУЧНЫЙ ГОДОВОЙ ОТЧЕТ АО «НИИП» ЗА 2025 ГОД

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборов»

Лыткарино 2026

Контактная информация:

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

Тел. 8-495-663-90-95

Факс 8-495-663-90-74

E-mail: niip@rosatom.ru

СОДЕРЖАНИЕ

I. ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА.....	4
II. О ПРЕДПРИЯТИИ	5
III. ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ.....	7
Общая характеристика деятельности	7
Экспериментальная база направления.....	8
Метрологическое обеспечение испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость	24
Научные проекты по тематике испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость	29
НИОКР «Исследование зависимости величины выхода заряда от мощности дозы в подзатворном SiO ₂ МОП-структур в диапазоне температур».....	29
НИОКР «Исследование чувствительности координатных матричных структур с применением сфокусированного лазерного излучения в диапазонах однофотонного и двухфотонного поглощения».....	31
IV. ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КАБЕЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ	35
Общая характеристика деятельности	35
Экспериментальная база направления.....	37
Научные проекты по тематике технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии	48
НИОКР «Исследование влияния состава, технологии изготовления на эксплуатационную устойчивость кабельной и полимерной продукции для перспективных ОИАЭ. Этап 2025 - 2026 годов»	48
V. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	55
Производство монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки.....	55
ОКР «Разработка и изготовление опытного образца проволочного отрезного станка для отсечения конусов и нарезания заготовок из кремниевых и германиевых	

стержней диаметром не более 300 мм и заготовок из синтетического сапфира, кварца, арсенида галлия, карбида кремния диаметром не более 150 мм».....	57
ОКР «Разработка установки выращивания бездислокационных монокристаллов Si, в том числе высокоомного, методом бестигельной зонной плавки кристаллического стержня с использованием индукционного источника плавки».....	60
Выращивание эпитаксиальных структур на подложках арсенида галлия методом жидкофазной эпитаксии.....	62
VI. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. НОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	63
НИОКР «Разработка технологии проектирования и изготовления датчиков угловых скоростей на основе волнового твердотельного гироскопа с металлическим резонатором»	63
НИОКР «Исследования и разработка технологии изготовления многофункциональных малых безэкипажных катеров и их систем управления».....	64
VII. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.....	65
VIII. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ	
Список публикаций сотрудников АО «НИИП» за 2025 год	70

I. ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

Для АО «НИИП» 2025-й год был напряженным и продуктивным. Удалось многое сделать в части развития как основных, так и новых направлений деятельности предприятия. Особенностью 2025 года стал старт ряда новых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

В 2025-ом году в рамках Федерального проекта «Специальные материалы и технологии атомной энергетики, опережающая подготовка квалифицированных кадров по направлению новые атомные технологии» АО «НИИП» начало выполнение НИОКР «Исследование влияния состава, технологии изготовления на эксплуатационную устойчивость кабельной и полимерной продукции для перспективных ОИАЭ. Этап 2025-2026 годов». В результате выполнения НИОКР будут разработаны методики сертификации продукции с использованием новой инструментальной базы, что позволит оптимизировать сроки сертификации и исключить поставки некачественной продукции, поставляемой на объекты использования атомной энергии.

В 2025 году АО «НИИП» продолжило выполнять ряд НИОКР в рамках тематического направления «Производство полупроводниковых материалов». В этой части стоит отметить ввод в опытную эксплуатацию цеха для выпуска эпитаксиальных структур методом жидкофазной эпитаксии на подложках арсенида галлия.

В настоящем отчете представлены краткая характеристика научной и инновационной деятельности предприятия за 2025 год, описания выполненных предприятием в 2025 году НИОКР, а также основные результаты, полученные в рамках их выполнения.

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

II. О ПРЕДПРИЯТИИ

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

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

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

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

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

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

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

детекторов излучений. В зависимости от диаметра выращиваемых монокристаллов. АО «НИИП» производит различные марки кремния, в том числе высокоомные.

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

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

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

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

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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

- проведение испытаний изделий ЭКБ и РЭА на прочность, устойчивость, стойкость и надежность в условиях воздействия внешних радиационных, механических, климатических и электрических факторов;
- проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в части исследования радиационной стойкости изделий ЭКБ и РЭА;
- 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.

По направлению испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость в рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Росатом Наука» в 2025 году были выполнены две НИОКР:

- «Исследование зависимости величины выхода заряда от мощности дозы в подзатворном SiO₂ МОП-структур в диапазоне температур»;
- «Исследование чувствительности координатных матричных структур с применением сфокусированного лазерного излучения в диапазонах однофотонного и двухфотонного поглощения».

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, которые могут загружены на установку составляет 64 шт., в настоящее время на установке загружены 32 источника.

Основные характеристики установки:

- Средняя энергия гамма-квантов – $E_{\text{ср}} = 1,25 \text{ МэВ}$.
- Экспозиционная мощность дозы – 1-200 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 2025 году фактическая наработка на установке ГУ-200 составила 2643 часов.



Стенд «Гамма-Н»

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

Основные характеристики установки:

- 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.
- Экспозиционная мощность дозы – $0,001 \div 0,1$ Р/с.
- Испытательный объем (Д×Ш×В) – $8 \times 10 \times 6$ м.

Эксплуатация стенда «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 2025 году фактическая наработка на стенде «Гамма-Н» составила 2160 часов.



Установка РИУС-5

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

Основные характеристики установки:

- Эффективная длительность импульса: от 23,3 до 25 нс.
- Мощность дозы – до $4,5 \cdot 10^{10}$ 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 2025 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой РИУС-5, составило 350 импульсов.



Установка ЛИУ-10

Тип установки – импульсный 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 из тантала.

Основные характеристики установки:

- Эффективная длительность импульса – от 9,35 до 10,9 нс.
- Максимальная мощность дозы у мишени – до $1 \cdot 10^{12}$ Р/с.
- Экспозиционная доза за импульс – до 7400 Р.
- Средняя энергия тормозного излучения – 2,1 МэВ.
- Производительность – 5 имп./смена.
- Диаметр пятна с мак. 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 2025 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой ЛИУ-10, составило 65 импульсов.



Установка УИН-10П

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

Основные характеристики установки:

Наносекундный режим:

1. Сфокусированный пучок:

- Диапазон экспозиционной дозы ТИ – до 77 кР.
- 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 – до 6 кР.
- Мощность экспозиционной дозы ТИ – до $6,5 \cdot 10^{10}$ Р/с.

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 2025 году общее количество импульсов, сгенерированных установкой УИН-10П, составило 205 импульсов.



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 характеристиками, реализующими одно- и двух-фотонные механизмы поглощения фотонов в кремнии. Принцип работы установки заключается в том, что источники формируют импульсы ЛИ 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 ЛИ 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.

Основные характеристики установки:

- 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).



Ионная испытательная станция АО «НИИП»

Ионная испытательная станция АО «НИИП» (ИИС) позволяет проводить облучения изделий ЭКБ высокоэнергетичными ионами различных химических элементов с порядковым номером от 8 до 83 на канале ускорителя У-400М ЛЯР ОИЯИ с энергией 3–6 МэВ/нуклон и на канале ускорителя ДЦ-140 ЛЯР ОИЯИ с энергией 4,8 МэВ/нуклон.

Основные характеристики установки:

- Энергия ионов – 3-6 МэВ/нуклон.
- Линейная передача энергии ионов (в кремнии) - от 1 до 99 МэВ·см²·мг⁻¹.
- Плотность потока частиц - от 1 до 10⁵ частиц/см²·с.
- Размеры полезного поля облучения (Ш x В) - 150 x 150 мм.
- Неравномерность плотности потока ионов в поле облучения – не более 30%.

ИИС АО «НИИП» была введена в эксплуатацию в 2025 году.

Кроме установок АО «НИИП» при проведении испытаний ЭКБ и РЭА в 2024 году использовались изохронные циклотроны У-400 и У400М 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.

Основные характеристики установки:

- Пиковое ускорение – от 500 до 5000 g (от 4905 до 49050 м/с²).
- Длительность ударного ускорения – от 0,1 до 1 мс.
- Форма импульса – полусинусоидальная.

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



Установка УСП-50

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

Основные характеристики установки:

- Пиковое ускорение при воспроизведении ударного ускорения – от 5 до 600 g (от 49,05 до 5886 м/с²).
- Длительность ударного ускорения – от 1 до 30 мс.
- Форма импульса – полусинусоидальная.

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



Установка УУЭ-2/200

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

Основные характеристики установки:

- Вес испытуемых изделий – до 3 кг.
- Пиковое ускорение ударного импульса – от 20 до 150 g.
- Длительность действия ударного импульса – 2 и 5 мс.
- Число ударов в минуту – от 40 до 120.

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

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



**Камера
термоудара
TSG-71S-A**

Установка TSG-71S-A предназначена для воспроизведения повышенной и пониженной температуры среды полезного объема с быстрым изменением температуры при испытаниях электрорадиоизделий, радиоэлектронной аппаратуры и материалов. Камера термоудара TSG-71S-A позволяет проводить испытания в температурном диапазоне от минус 70 °С до 0 °С и от плюс 60 °С до плюс 200 °С, время перехода от пониженной температуры к повышенной (или наоборот) – менее 5 минут.

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



Камера тепла, холода и влаги КТК-800

Установка КТК-800 предназначена для воспроизведения повышенной и пониженной температуры среды полезного объема, а также воссоздания условий пониженной и повышенной влажности в полезном объеме камеры.

Основные характеристики установки:

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

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



Камера циклического изменения температуры КТЦ-0,025

Установка КТЦ-0,025 предназначена для воспроизведения воздействия повышенной и пониженной температуры, а также изменения температуры при испытании электрорадиоизделий, радиоэлектронной аппаратуры и материалов.

Основные характеристики установки:

- Диапазон воспроизводимой температуры – в отсеке тепла от 50 °С до 155 °С; в отсеке холода от $t_{\text{окр.ср.}}$ до минус 65 °С.
- Средняя скорость достижения температурных режимов, не менее – при нагревании от $t_{\text{окр.ср.}}$ до 155 °С – 3 минуты; при охлаждении от $t_{\text{окр.ср.}}$ до минус 65 °С – 1 минута.
- Время восстановления температурных режимов после загрузки образцов (при времени загрузки 1 минута), не более – 5 минут.
- Отклонение воспроизводимой температуры от заданного значения температуры в полезном объеме камеры в течение времени выдержки, не более – ± 2 °С.

Эксплуатация 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.

Установки, моделирующие воздействие импульсных электрических и магнитных полей



**Установка
УИЭП**

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

Основные характеристики установки:

- 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.



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.

Основные характеристики установки:

- Импульсное входное напряжение – от 5 до 500 В (ИГМ 05.1); 500 до 5000 В (ИГМ 5.1).
- Значение выходного импеданса генераторов импульсов – 40 Ом.
- Длительность импульса напряжения дискретная – 0,1; 1; 10 мкс.
- Максимальный импульсный ток – не менее 10 А.
- Длительность переднего фронта импульса – не более 5 % от длительности импульса.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

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

Основными задачами метрологической службы являются:

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

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

Метрологическая служба имеет следующие разрешительные документы:

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

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

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

Область аккредитации по обеспечению единства измерений для выполнения работ и(или) оказания услуг по аттестации методик измерений позволяет проводить аттестацию 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 и 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;
- электрических и магнитных величин, радиотехнические и радиоэлектронные измерения.

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

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

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

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

ИО для воспроизведения переноса энергии	Диапазон воспроизведения переноса энергии электронов: от 1,0 до $5,0 \cdot 10^2$ Дж см ⁻² . Допустимое отклонение воспроизведения переноса электронов: ± 15 %.
ИО для воспроизведения потока	Диапазон воспроизведения потока электронов: от $5 \cdot 10^7$ до $2 \cdot 10^{13}$ с ⁻¹ . Допустимое отклонение потока электронов: ± 15 %.
ИО для воспроизведения энергии	Диапазон воспроизведения энергии электронов: от 0,05 до 10 МэВ. Допустимое отклонение воспроизведения энергии электронов: ± 10 %.
ИО для воспроизведения флюенса	Диапазон воспроизведения флюенса электронов: от $5 \cdot 10^9$ до $5 \cdot 10^{16}$ см ⁻² . Допустимое отклонение воспроизведения флюенса электронов: ± 15 %.
ИО для воспроизведения плотности потока электронов	Диапазон воспроизведения плотности потока электронов: от $5 \cdot 10^6$ до $2 \cdot 10^{12}$ см ⁻² с ⁻¹ . Допустимое отклонение воспроизведения плотности потока электронов: ± 15 %.
ИО для воспроизведения плотности потока энергии	Диапазон воспроизведения плотности потока энергии электронов: от $1,0 \cdot 10^{-1}$ до $5 \cdot 10^{-1}$ Вт см ⁻² . Допустимое отклонение воспроизведения потока энергии электронов: ± 15 %.
ИО для воспроизведения поглощенной дозы	Диапазон воспроизведения поглощенной дозы электронного излучения: от 10^3 до $5 \cdot 10^4$ Гр. Допустимое отклонение воспроизведения поглощенной дозы электронного излучения: ± 25 %.

За 2025 год в соответствии с графиком поверки (калибровки) в АО «НИИП» было поверено (откалибровано) 1057 единиц средств измерений, из них в АО «НИИП» поверено 647 единиц. За 2025 год в соответствии с графиком в АО «НИИП» было аттестована 21 единица испытательного оборудования.

НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ ПО ТЕМАТИКЕ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

НИОКР «Исследование зависимости величины выхода заряда от мощности дозы в подзатворном SiO₂ МОП-структур в диапазоне температур»

НИОКР «Исследование зависимости величины выхода заряда от мощности дозы в подзатворном SiO₂ МОП-структур в диапазоне температур» выполнялась в рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Росатом наука».

Воздействие импульсного ионизирующего излучения на изделия электронной техники (ИЭТ) приводит к выходу параметров ИЭТ за установленные нормы на определенное время, которое называется временем потери работоспособности (ВПР). В ИЭТ, изготовленных по МОП-технологии, ВПР определяется, в том числе, длительностью процесса релаксации заряда дырок в изолирующих слоях SiO₂. Концентрация радиационно-индуцированных носителей заряда в SiO₂ зависит в первую очередь от величины переданной веществу энергии, то есть, поглощенной дозы ионизирующего излучения. Однако, вклад в изменение параметров МОП-структуры вносят только те носители заряда, которые избежали рекомбинации. Доля этих носителей называется выходом заряда. Данный параметр зависит от таких условий эксперимента как энергия излучения, величина электрического поля в оксиде, температура полупроводникового кристалла. При слабом электрическом поле, которое реализуется в изолирующих и скрытых окислах современных интегральных микросхем, механизмы, определяющие выход заряда и динамику его релаксации при воздействии и после воздействия импульсного ионизирующего излучения, изучены недостаточно. В свою очередь, отсутствие ясного понимания данных механизмов не позволяет проводить корректную оценку стойкости современных интегральных микросхем к воздействию импульсного ионизирующего излучения.

Целью НИОКР являлось получение экспериментальных данных о динамике релаксации и величине выхода радиационно-индуцированного заряда в изолирующих слоях МОП-структуры при и после воздействия импульсного ионизирующего излучения для электрических полей в слое SiO₂ < 10⁵ В/см.

В качестве объектов исследования были выбраны р-канальные МОП-транзисторы с толщиной подзатворного диэлектрика, равной 400 нм.

Облучение образцов р-канальных МОП-транзисторов проводилось на импульсных ускорителях электронов УИН-10П и РИУС-5 (АО «НИИП»), работающих в режиме генерации тормозного излучения (ТИ). ТИ генерировалось при поглощении пучка электронов в аноде-мишени из тантала. В процессе и после облучения на затвор МОП-транзисторов подавалось различное напряжение от минус 4 до плюс 4 В. Облучения проводились при температуре полупроводникового кристалла образцов МОП-транзисторов 140 К и 300 К. Исследование процессов релаксации заряда в диоксиде кремния осуществлялось с помощью регистрации сток-затворной характеристики МОП-транзисторов в диапазоне от 10^{-3} до 10^2 секунд после воздействия импульса ионизирующего излучения и последующего вычисления порогового напряжения. Длительность одного цикла регистрации сток-затворной характеристики не превышало 100 мкс.

В ходе проведенных экспериментальных исследований было установлено:

- динамика релаксации заряда дырок в изолирующих слоях SiO_2 сильно зависит от температуры полупроводникового кристалла;
- на динамику релаксации заряда дырок в изолирующих слоях SiO_2 влияет электрическое поле, создаваемое радиационно-индуцированным положительным зарядом дырок;
- величина выхода радиационно-индуцированного заряда в диапазоне электрических полей в SiO_2 от минус 10^5 В/см до плюс 10^5 В/см слабо зависит от величины электрического поля;
- на величину выхода радиационно-индуцированного заряда сильно влияет величина дозы ионизирующего излучения, поглощенная в слое SiO_2 , что свидетельствует важной роли бимолекулярной рекомбинации радиационно-индуцированных электронов и дырок.

Результаты проведенных экспериментальных исследований были использованы при разработке рекомендаций по проведению испытаний приборов МОП-технологии на стойкость к воздействию импульсных ионизирующих излучений.

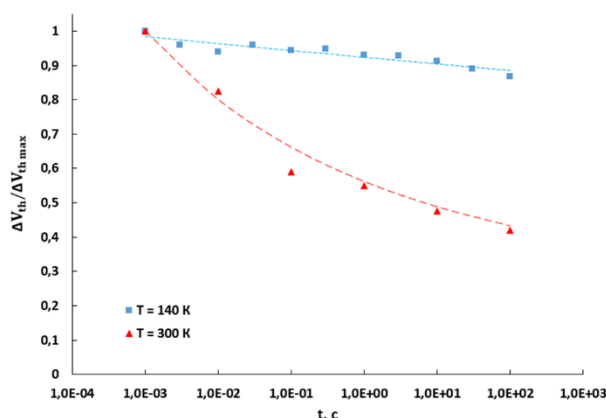


Рис. III.1. Зависимости относительного изменения порогового напряжения МОП-транзисторов после импульса ионизирующего излучения при температурах 140 К и 300 К

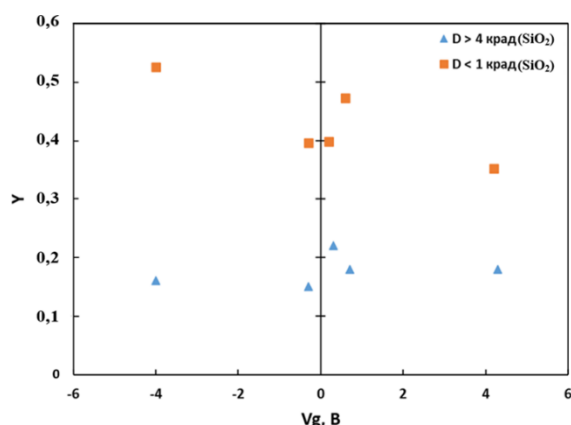


Рис. III.2. Зависимость величины выхода заряда от напряжения на затворе транзисторов при дозах за импульс $\approx 1 \text{ крад}(\text{SiO}_2)$ и $(5 \div 10) \text{ крад}(\text{SiO}_2)$

НИОКР «Исследование чувствительности координатных матричных структур с применением сфокусированного лазерного излучения в диапазонах однофотонного и двухфотонного поглощения»

НИОКР «Исследование чувствительности координатных матричных структур с применением сфокусированного лазерного излучения в диапазонах однофотонного и двухфотонного поглощения» выполнялась в рамках группы инвестиционных мероприятий «Комплексная программа инициативных, поисковых и заделных работ в научных организациях АО «Росатом наука».

Целью настоящей НИОКР являлось определение чувствительности координатно-чувствительных структур, разработанных АО «НИИП» и предназначенных для регистрации фотонного излучения с энергией 4 – 20 кэВ, с помощью сфокусированного лазерного излучения в режимах однофотонного и двухфотонного поглощения.

В процессе выполнения НИОКР были использованы два основных типа экспериментальных образцов: кристаллы чувствительных матриц (ЧМ) и кристаллы полнофункциональных монолитных матричных чувствительных элементов (ПММЧЭ). Фотографии полупроводниковых кристаллов исследуемых образцов представлены на рисунках III.3 и III.4. В основе пиксельных матриц исследуемых образцов лежат кремниевые p-i-n фотодиодные структуры – по два фотодиода в каждом пикселе матрицы, что позволяет при наличии системы обработки дешифровать строки и столбцы матрицы. Кристаллы ПММЧЭ имеют в своем составе непосредственно чувствительную пиксельную матрицу и часть, отвечающую за обработку и вывод сигнала детектора – усилители сигнала, дешифраторы строк и столбцов и схему срабатывания. Кристаллы ЧМ, в свою очередь, имеют лишь пиксельную матрицу.

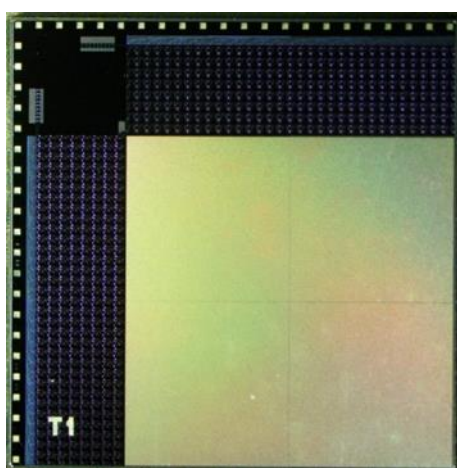


Рис. III.3. Фотография кристалла ЧМ с матрицей 256×256 пикселей.

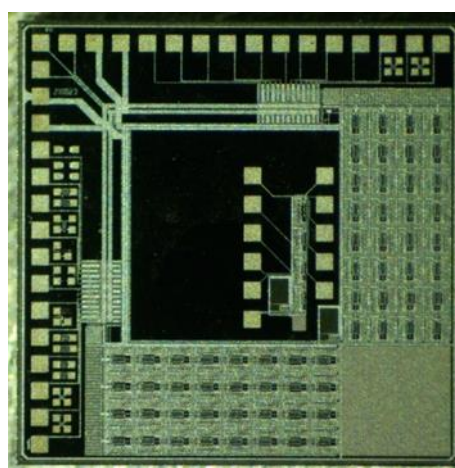


Рис. III.4. Фотография кристалла ПММЧЭ с матрицей 64×64 пикселей

В процессе выполнения НИОКР были измерены вольтамперные характеристики сегментов чувствительных матриц и с помощью экспериментов с

применением источника сфокусированного лазерного излучения определена зависимость пороговой энергии срабатывания детектора от внешнего управляющего сопротивления. Задание электрических режимов и измерение вольтамперных характеристик сегментов чувствительных матриц проводилось с помощью анализатора Agilent B1505A. Облучение образцов сфокусированным лазерным излучением проводилось на установке PULSYS-RAD (лазерные источники установки PULSUS PICO с длиной волны 1064 нм и PULSUS 2P с длиной волны 1550 нм, радиус пятна лазерного излучения составлял от 1,4 до 3,6 мкм). Структурная схема эксперимента по определению чувствительности координатных матричных структур с применением сфокусированного лазерного излучения представлена на рисунке III.5.

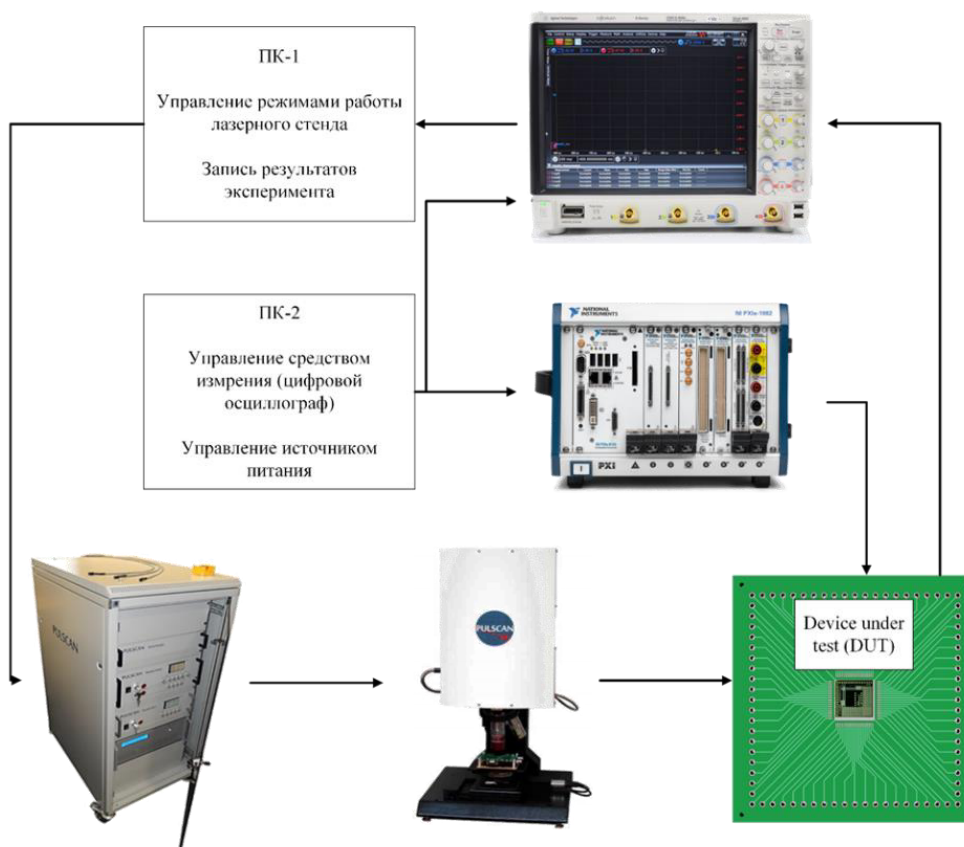


Рис. III.5. Структурная схема эксперимента по определению чувствительности координатных матричных структур с применением сфокусированного лазерного излучения

В ходе проведения экспериментальных исследований для различных величин внешнего управляющего сопротивления и различных значений полной энергии в импульсе лазерного излучения были получены картограммы чувствительности пиксельных матриц. Пример картограммы чувствительности пиксельной матрицы ПММЧЭ приведен на рисунке III.6. Представленные на рисунке III.6 результаты показывают, что с увеличением полной энергии в импульсе лазерного излучения, чувствительная область, в которой наблюдается срабатывание детектора, возрастает и достигает своей предельной величины,

которая определяется топологическими размерами пикселя матрицы. Пороговая энергия срабатывания детектора определялась с помощью экстраполяции в области малых значений энергии лазерного излучения зависимости сечения срабатывания детектора от полной энергии в импульсе лазерного излучения. Зависимость пороговой энергии срабатывания детектора от величины внешнего управляющего сопротивления представлена на рисунке III.7. Зависимость пороговой энергии срабатывания детектора от внешнего управляющего сопротивления хорошо аппроксимируется линейной функцией. Данная аппроксимация может быть использована для выбора режимов работы детектора.

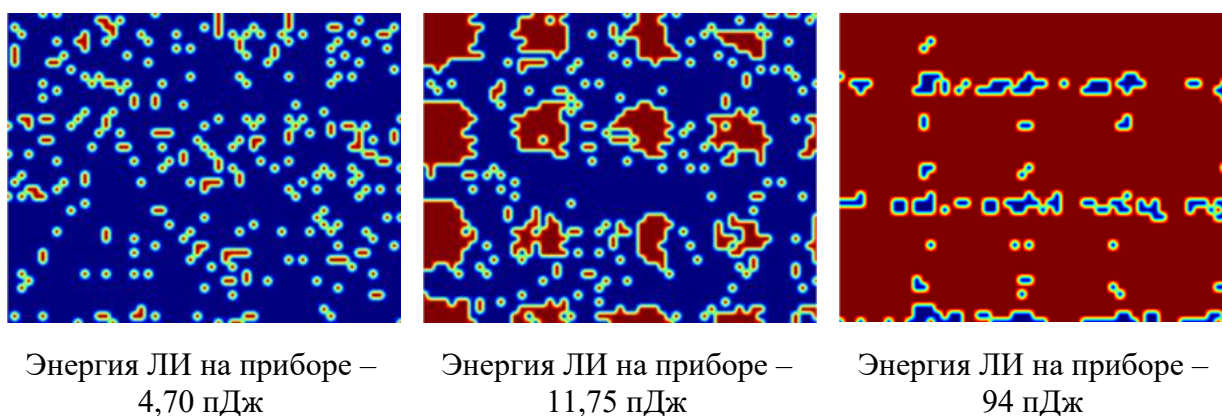
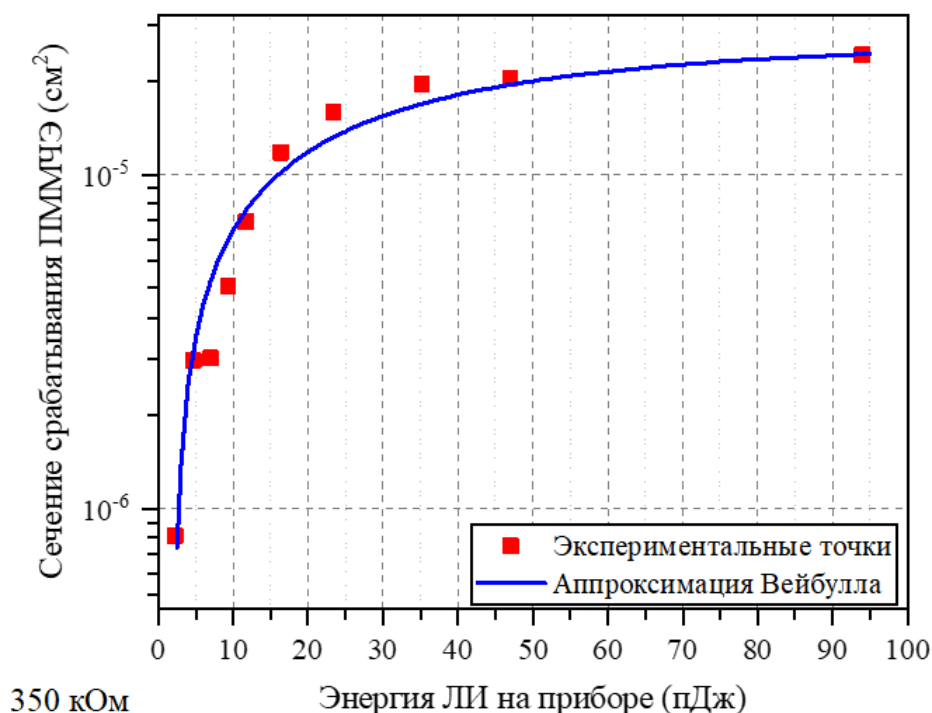


Рис. III.6. Результаты определения чувствительности ПММЧЭ при внешнем сопротивлении 350 кОм. Синий цвет соответствует области матрицы, в которой срабатывание детектора не происходит, бордовый цвет соответствует области матрицы, в которой наблюдается срабатывание детектора

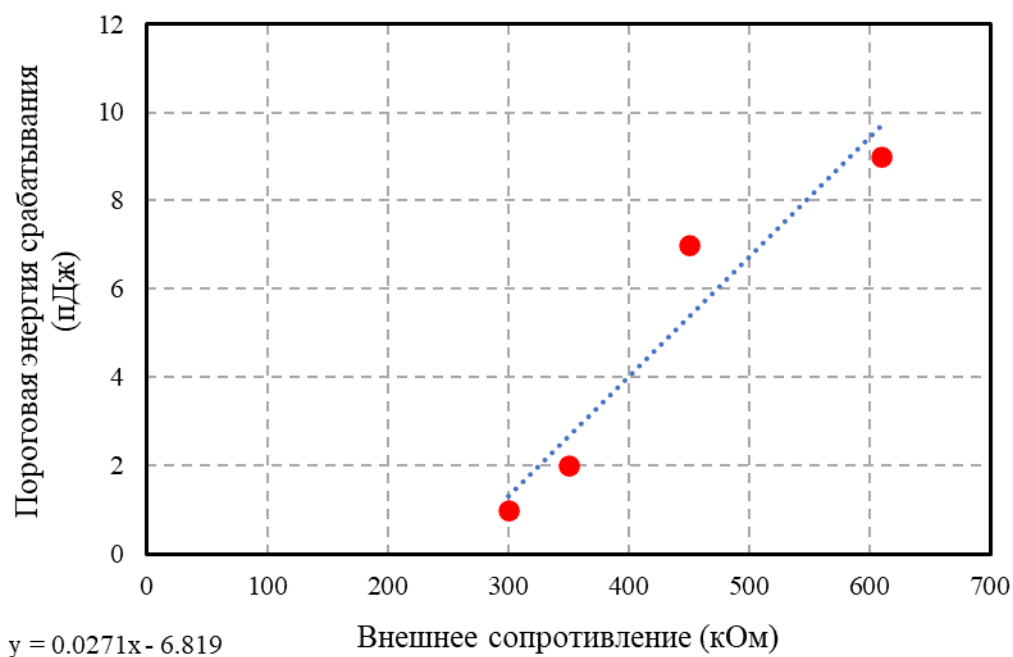


Рис. III.7. Зависимость пороговой энергии срабатывания детектора ПММЧЭ от внешнего сопротивления

В результате выполнения НИОКР «Исследование чувствительности координатных матричных структур с применением сфокусированного лазерного излучения в диапазонах однофотонного и двухфотонного поглощения» была определена чувствительность координатно-чувствительных структур, разработанных АО «НИИП» для регистрации фотонного излучения с энергией 4 – 20 кэВ для широкого диапазона значений внешнего управляющего сопротивления; установлено, что разработанные детекторы соответствуют заявленным требованиям; на основе полученных экспериментальных данных было разработано программное обеспечение, позволяющее задавать режимы работы детекторов.

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 непосредственно на объектах эксплуатации;
- диагностика и контроль технического 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 АС;
- разработка технических документов, определяющих проведение диагностики, контроля состояния и управление ресурсными характеристиками элементов АС;
- разработка и внедрение программ по управлению ресурсом кабелей и электрооборудования на всех этапах жизненного цикла АС.

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 2025 году в рамках Федерального проекта (Р4) «Специальные материалы и технологии атомной энергетики, опережающая подготовка квалифицированных кадров по направлению новые атомные технологии» была начата двухлетняя НИОКР «Исследование влияния состава, технологии изготовления на эксплуатационную устойчивость кабельной и полимерной продукции для перспективных ОИАЭ».

В 2025 году были проведены работы по техническому диагностированию электротехнического оборудования на Смоленской АС, Кольской АС, Ленинградской АС, Нововоронежской АС, Армянской АС.

При выполнении работ было обследовано:

- более 200 единиц контрольных кабелей различных марок;
- более 180 единиц силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и пропитанной бумажной изоляцией;
- более 100 мощных вращающихся электрических машин;
- турбогенератор ТГ-2 энергоблока №1 Смоленской АЭС (ТБВ-500-2У3);
- 4 мощных маслонаполненных трансформатора.

Методы неразрушающего контроля, такие как, измерение сопротивления изоляции, восстановленного напряжения, изотермического тока релаксации, импульсной рефлектометрии, измерение частичных разрядов на затухающем осциллирующем напряжении, частотно-диэлектрической спектроскопии, тепловизионного контроля, метод импульсных напряжений с измерением ЧР, оценка эксцентриситета и состояния стержней ротора на основе анализа спектрального состава тока потребления, метод микрообразцов показали свою эффективность при оценке фактического технического состояния и контроле за развивающимися дефектами и прогнозировании срока службы (ресурса) кабелей и электротехнического оборудования на АС.

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.



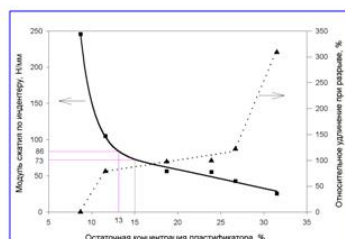
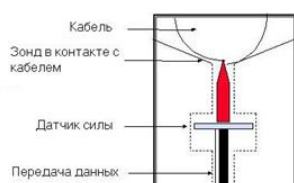
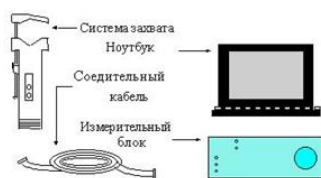
Основным методом, который используется для диагностики состояния полимерных материалов, является механический анализ – определение относительного удлинения и прочности при разрыве.



Для определения механических характеристик полимерных материалов применяются:

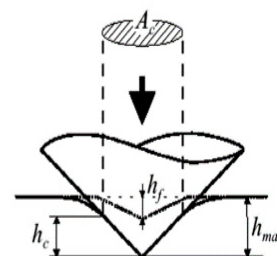
Кабельный индентор.

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)

Прибор NanoScan 4D — современный сканирующий наноиндентор, обеспечивающий высокоточное измерение механических свойств материалов (твёрдость, модуль упругости, упругопластические характеристики) на нано- и микромасштабе. Прибор реализует комплекс методов индентирования: кинетическое, статическое нано- и ударное индентирование, что позволяет исследовать локальные характеристики полимеров, композитов и покрытий с минимальным воздействием на образец и высокой пространственной разрешающей способностью. Использование NanoScan 4D в рамках проекта обеспечивает достоверную оценку деградации материалов при термическом и радиационном старении, позволит выявлять неоднородности структуры и подтверждать выпуск стабильность качества кабельной и полимерной продукции. Полученные данные интегрируются в общую базу результатов физико-химических исследований и служат основой для разработки экспресс-методов входного контроля.



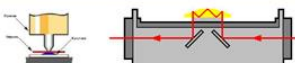
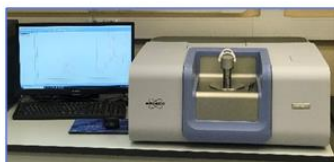
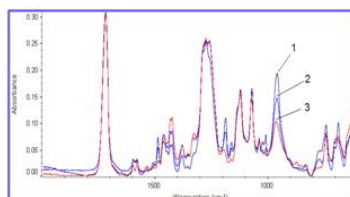
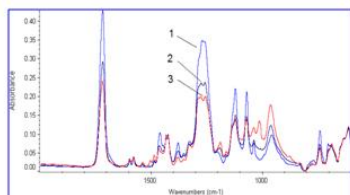


Динамический твердомер ТЭМП-2 – специализированный измерительный комплекс для определения твердости полимерных материалов, резин и эластомеров по методикам Шора А, Шора D и международным аналогам. Прибор оснащен высокоточной системой нагружения, цифровым дисплеем и автоматической регистрацией результатов, что обеспечивает воспроизводимость измерений в соответствии с требованиями ГОСТ и международных стандартов. Устройство поддерживает работу в широком температурном диапазоне и позволяет проводить испытания как в лабораторных, так и в производственных условиях. Применение твердомера ТЭМП-2 позволяет оперативно контролировать механическую стабильность оболочек и изоляции кабельной продукции, выявлять отклонения в технологии вулканизации и старении материалов.

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

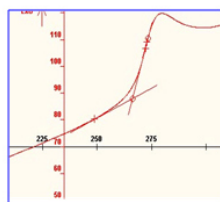
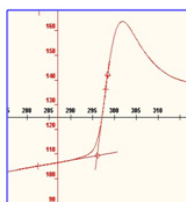
- ИК-Фурье спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения;
- дифференциальная сканирующая колориметрия;
- термомеханический анализ;
- термогравиметрический анализ.

Техническое диагностирование. ИК Фурье спектроскопия полимерных материалов



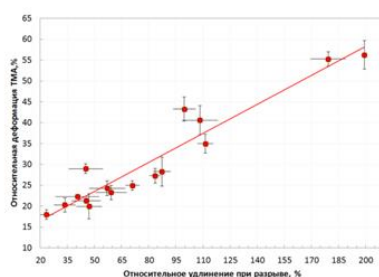
- Метод применяется для контроля степени старения различных видов кабельных полимерных материалов по интенсивности характерных полос спектра поглощения. Для работы с микрообразцами используется приставка НПВО (нарушенное полное внутреннее отражение)
- ИК-Фурье спектроскопия является традиционным методом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

Техническое диагностирование. Дифференциальная сканирующая калориметрия



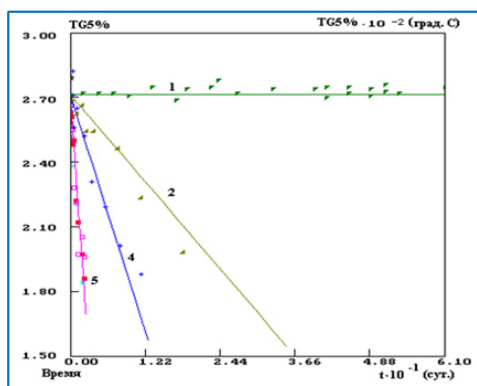
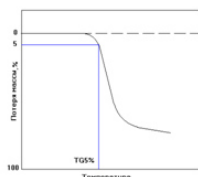
- Метод оценки степени старения полиэтиленовых изоляций /оболочек низковольтных кабелей
- Метод основан на испытании микрообразцов при повышенной температуре в ячейке дифференциального сканирующего калориметра (ДСК)
- По ТНО и ВИ косвенно определяется содержание антиоксиданта, т.е. срок службы при повышенных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

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

Техническое диагностирование. Термогравиметрический анализ полимерных материалов



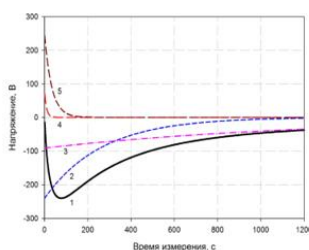
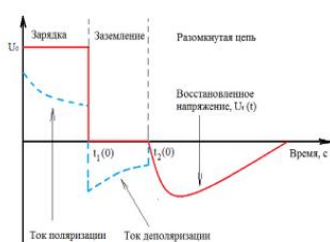
Изменение параметра $TG5\%$ в образцах из ПВХ-оболочки кабеля при разных режимах терморadiационного старения:
 1 - тепловое старение при 87°C ; 2 - $P = 0,1 \text{ Гр/с}$, $T = 25^\circ\text{C}$;
 3 - $P = 0,03 \text{ Гр/с}$, $T = 25^\circ\text{C}$; 4 и 5 - $P = 0,6 \text{ Гр/с}$, $T = 25$ и 55°C

- Метод предназначен для оценки старения полимерных материалов при счет разрушения 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

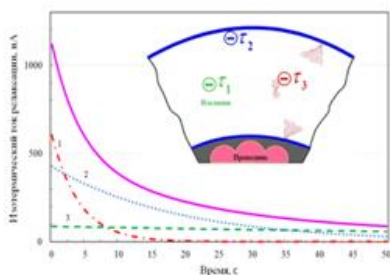
$$U_r(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)$$

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

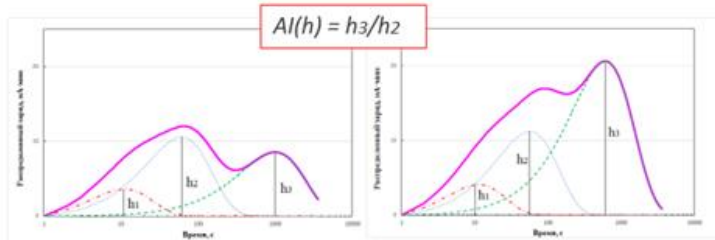
$$LIRV = 100 \cdot |U_{rm}/S_+|$$



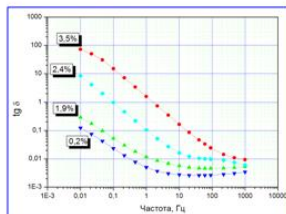
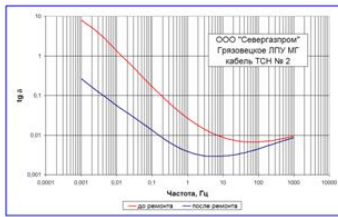
Техническое диагностирование. Оценка состояния изоляции кабелей по величине изотермического тока релаксации



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



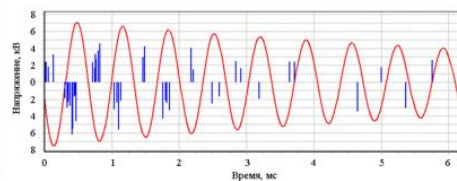
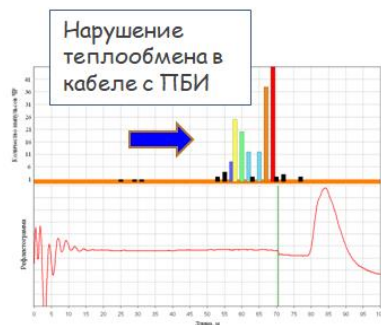
Техническое диагностирование. Частотно-диэлектрическая спектроскопия



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

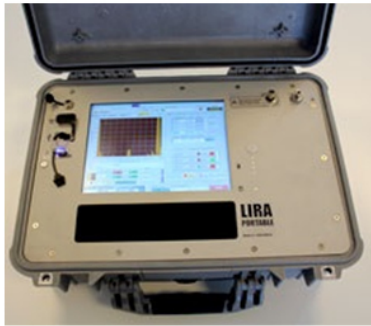
$$W_c = 15,3 + 2,53 \ln(tg \delta_{\min}), \%$$

Техническое диагностирование. Контроль развивающихся дефектов в силовых кабелях методом OWTS



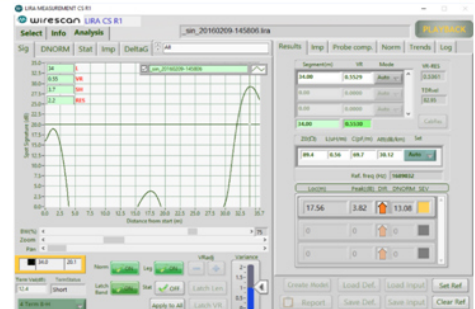
- Метод контроля дефектов (микрополостей в изоляции) и их положения на кабельных трассах
- Эффективен для оценки состояния силовых кабелей с ПБИ (усушка изоляции) и СПЭ
- Диагностическая техника:
 - ✓ CPDA 15 или
 - ✓ OWTS 25

Техническое диагностирование. Частотно-резонансная рефлектометрия



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

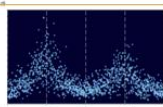
LIRA - компьютеризированный частотно - резонансный рефлектометр неоднородностей кабельных линий, основанный на измерении параметров стоячих волны, генерируемых в диапазоне от 25 кГц до 100 МГц с шагом от 5 кГц до 25 кГц. Изменение параметров стоячей волны свидетельствует о наличии в данной точке трассы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



Для определения «горячих» точек эксплуатации (мест с повышенной температурой) непосредственно на объектах использования атомной энергии применяется набор тепловизионных и акустических камер. Тепловизор Guide C640 Pro используется для проведения тепловизионного контроля электроустановок, электродвигателей, трансформаторов и кабелей в диапазоне от минус 20 °С до 800 °С. Прибор Филин-6 преобразует ультрафиолетовое излучение разрядных процессов в видимое и формирует их изображение вместе с изображением контролируемого объекта на экране, что 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. NL-камера применяется для дистанционного обследования электротехнического оборудования такого как: изоляторы, кабели и кабельные муфты, трансформаторы, опорные изоляторы, токопроводы. Фотографии приборов Guide C640 Pro, Филин-6 и NL-камера представлены на рисунке слева направо.

Основная техника для проведения дистанционного обследования

Акустическая камера



Используется для визуализации и поиска коронных и электрических разрядов на высоковольтном оборудовании при напряжениях от 3 кВ. Применяется для обследования электротехнического оборудования такого как: изоляторы, кабели и кабельные муфты, трансформаторы, опорные изоляторы, токопроводы

NL-камера

Тепловизионная камера



Используется для проведения тепловизионного контроля электроустановок, электродвигателей, трансформаторов и сетей в диапазоне от -20 °С до 800 °С

Guide C640 Pro

Ультрафиолетовая камера



Прибор 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

Филин-6

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

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

Техника для диагностирования мощных маслонаполненных трансформаторов



**TRANSPORT X –
фотоакустический
спектрометр**

Анализ растворимых газов и
влаги в масле

Водород (H ₂)	5...5000
Оксид углерода (CO)	2...50000
Углекислый газ (CO ₂)	2...50000
Метан (CH ₄)	1...50000
Ацетилен (C ₂ H ₂)	1...50000
Этан (C ₂ H ₆)	1...50000
Этилен (C ₂ H ₄)	1...50000
Вода (H ₂ O)	±3 ppm



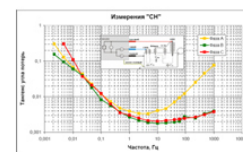
ИК спектроскопия

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



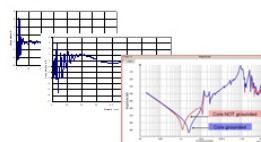
**Частотно-
диэлектрическая
спектроскопия**

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



**Метод частотного
анализа**

Контроль механического состояния обмоток



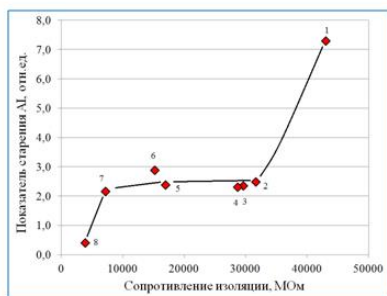
**Комплекс СДК-1Т,
система «Веста»**

Оценка усилия прессовки обмоток и
сердечника трансформаторов

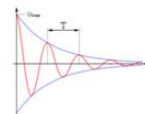
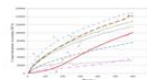
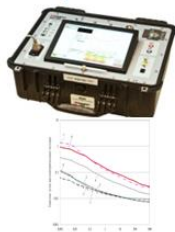
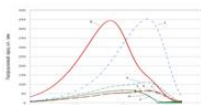
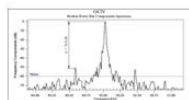
Для диагностирования мощных вращающихся электрических машин непосредственно на объектах использования атомной энергии применяется:

- частотно-диэлектрическая спектроскопия (IDAX 350);
- контроль состояния обмоток статора методом импульсных напряжений с измерением ЧР (SchleichMTC-2);
- контроль состояния и оценки остаточного срока службы (AC-Tester),
- мегомметр (Megger S-1054);
- оценка состояния ротора на основе анализа спектрального состава тока потребления (MDS P-3).

Техническое диагностирование мощных ЭМ



- Реализация неразрушающего и безразборного метода диагностики и оценки ресурса
- Разработаны технические документы по заказу КРЭА
 - МР 1.2.1.13.1004-2015 (КРЭА) "Диагностика изоляции обмоток статоров электрических машин с использованием метода восстановленного напряжения. Методические рекомендации"
 - МР 1.1.4.04.1767-2020 (КРЭА) "Оценка состояния и ресурса вращающихся электрических машин по результатам технического диагностирования изоляции обмоток статора электрическими методами контроля"
 - СТО (АО «НИИП») 0864450-79-2021 «Техническое диагностирование изоляции обмоток статоров вращающихся машин и оценка ресурса асинхронных электродвигателей»



НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ ПО ТЕМАТИКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КАБЕЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

НИОКР «Исследование влияния состава, технологии изготовления на эксплуатационную устойчивость кабельной и полимерной продукции для перспективных ОИАЭ. Этап 2025-2026 годов»

В 2025 году была начата двухлетняя НИОКР «Исследование влияния состава, технологии изготовления на эксплуатационную устойчивость кабельной и полимерной продукции для перспективных ОИАЭ. Этап 2025-2026 годов» в рамках Федерального проекта «Специальные материалы и технологии атомной энергетики, опережающая подготовка квалифицированных кадров по направлению новые атомные технологии», входящего в состав национального проекта по обеспечению технологического лидерства «Новые атомные и энергетические технологии».

Полимерные материалы служат основой электроизоляции для кабельной продукции и электротехнического оборудования, а также все активнее применяются в качестве теплоизоляционных, антикоррозионных и конструкционных материалов на ОИАЭ. Однако результаты технического диагностирования КиПП, проводимого АО «НИИП» в рамках деятельности на АС, выявили тенденцию роста числа несоответствий состояния продукции требованиям безопасной эксплуатации и увеличения количества отказов. Основными причинами данных проблем являются нарушения технологий изготовления и нестабильность состава полимерных рецептур (варьирование стабилизаторов и наполнителей). Выявить эти нарушения без применения современных инструментальных методов контроля невозможно. Для решения данных проблем в отрасли необходимо разработать и внедрить экспресс-методы оценки качества для входного контроля, позволяющие за короткое время и по ограниченному набору параметров определить соответствие новой продукции уже апробированным образцам, находящимся в эксплуатации. Ключевым критерием при этом остается сохранение эксплуатационной устойчивости КиПП в специфических условиях ОИАЭ.

Анализ патентной информации за период 2000 – 2024 гг. показал недостаток данных о механизмах старения современных промышленных полимерных материалов. Отсутствуют комплексные исследования кинетики деградации под

воздействием температуры и ионизирующего излучения, а также данные о влиянии комбинированных нагрузок. Существующих сведений недостаточно для прогнозирования долговечности без проведения длительных натурных испытаний.

Целью этапа работ 2025 года являлась разработка инструментальных методов контроля качества кабельной и полимерной продукции на всех этапах жизненного цикла, для чего в 2025 году были получены экспериментальные данные для подтверждения качества и соответствия обязательным требованиям ОИАЭ, разработаны и согласованы с Заказчиком программы и методики испытаний, проведен комплекс исследовательских испытаний образцов поставляемой продукции, а также обеспечено метрологическое сопровождение работ, включающее верификацию средств измерений, анализ погрешностей и стандартизацию терминологии.

В рамках этапа работ 2025 года были разработаны и внедрены две ключевые программы-методики испытаний: ПМИ-1, определяющая требования к оборудованию, подготовке образцов и объему измерений физико-химических свойств для подтверждения стабильности качества КиПП, и ПМИ-2, регламентирующая проведение ускоренных испытаний образцов под воздействием повышенной температуры и радиации для моделирования процессов старения.

Исследования охватили основные типы полимеров для ОИАЭ, таких как сшитый полиэтилен, безгалогенные композиции на основе этиленвинилацетата, ПВХ пластикат и вулканизированная резина, представленные в виде образцов оболочек низковольтных кабелей и образцов изоляции силового кабеля среднего напряжения.

Для анализа свойств материалов применялся комплекс методов, включающий дифференциальную сканирующую калориметрию, ИК-Фурье спектроскопию, термомеханический и термогравиметрический анализы, инструментальное индентирование и измерение относительного удлинения при разрыве.

По результатам механического и термомеханического анализа были отобраны различные типы уплотнительных материалов, обладающих различающимися физико-механическими характеристиками. На основе данных об относительном удлинении при разрыве и температуре стеклования образцы были разделены на две группы: первая из которых характеризуется температурой стеклования в положительной температурной области, вторая — в отрицательной, что свидетельствует о применении различных технологий изготовления данных материалов.

По результатам термического анализа были отобраны образцы кабельной продукции, представляющие основные типы полимерных материалов оболочек и изоляции: ПВХ пластикат, композиции на основе ЭВА, вулканизированная резина и сшитый полиэтилен. В исследование включены изделия различных отечественных производителей, таких как АО «Электрокабель» Кольчугинский завод, ООО ГК «Севкабель», АО «НП Подольсккабель» и АО «Эспокабель», что позволило сформировать репрезентативную выборку материалов без приведения конкретных марок кабелей.

Оценка пригодности данных материалов представляет собой многоуровневую процедуру, направленную на подтверждение их надежности и соответствия требованиям ядерной безопасности. Ключевыми контролируемыми параметрами являются механические свойства, такие как модуль упругости при индентировании и относительное удлинение при разрыве, а также физико-химические характеристики, включая методики с использованием инфракрасной спектроскопии для идентификации состава, что позволяет прогнозировать ресурс изделий и планировать их замену в рамках системы управления старением.

Результаты экспериментальных исследований, примеры которых представлены на рисунках IV.1 и IV.2, позволили установить и выявить четкое разделение исследуемых марок резин на две группы по совокупности свойств. Образцы с высоким относительным удлинением при разрыве демонстрируют низкий модуль упругости, что свидетельствует об их высокой эластичности, в то время как марки с низким удлинением отличаются повышенной жесткостью и прочностью.

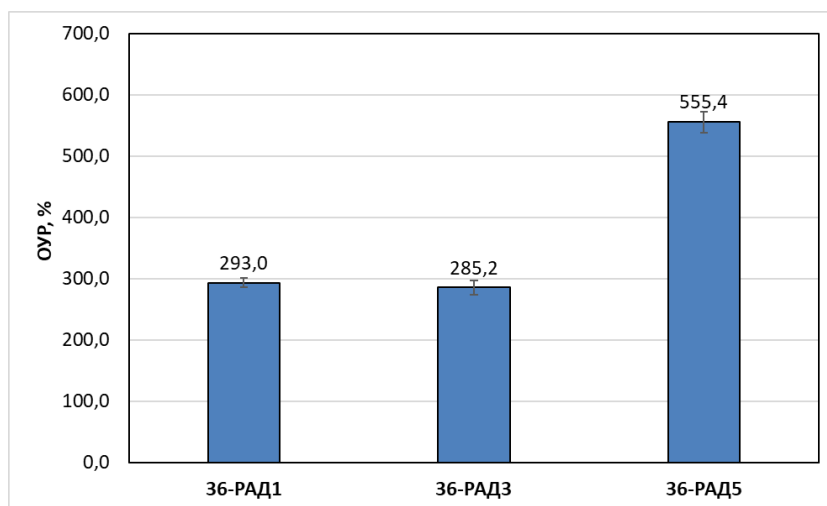


Рисунок IV.1 – Характеристики относительного удлинения при разрыве резины 36-PAД1, 36-PAД-3 и 36-PAД5

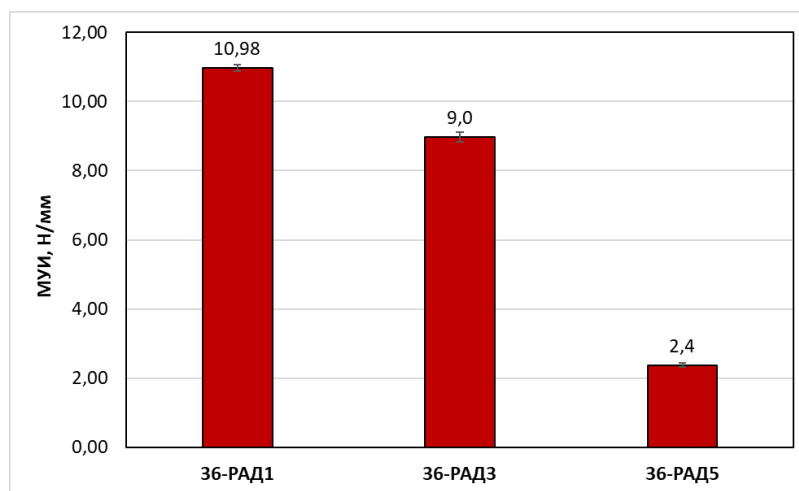


Рисунок IV.2 – Характеристики модуль упругости при индентировании для резины 36-PAД1, 36-PAД-3 и 36-PAД5

На основании полученных данных основными неразрушающими методами оценки состояния уплотнителей признаны измерение модуля упругости при индентировании и термомеханический анализ. Дальнейшее развитие работ связано с внедрением более точных инструментальных методов, таких как ударное и наноиндентирование, которые позволяют оценить вязкость полимеров и границы их устойчивости при повышенных температурах. Кроме того, метод ИК-Фурье спектроскопии рассматривается как эффективный инструмент для контроля качества путем сравнения текущих спектров поглощения с эталонными значениями. Типичная ИК спектры поглощения полимерного материала резины исследуемых образцов представлены на рисунке IV.3.

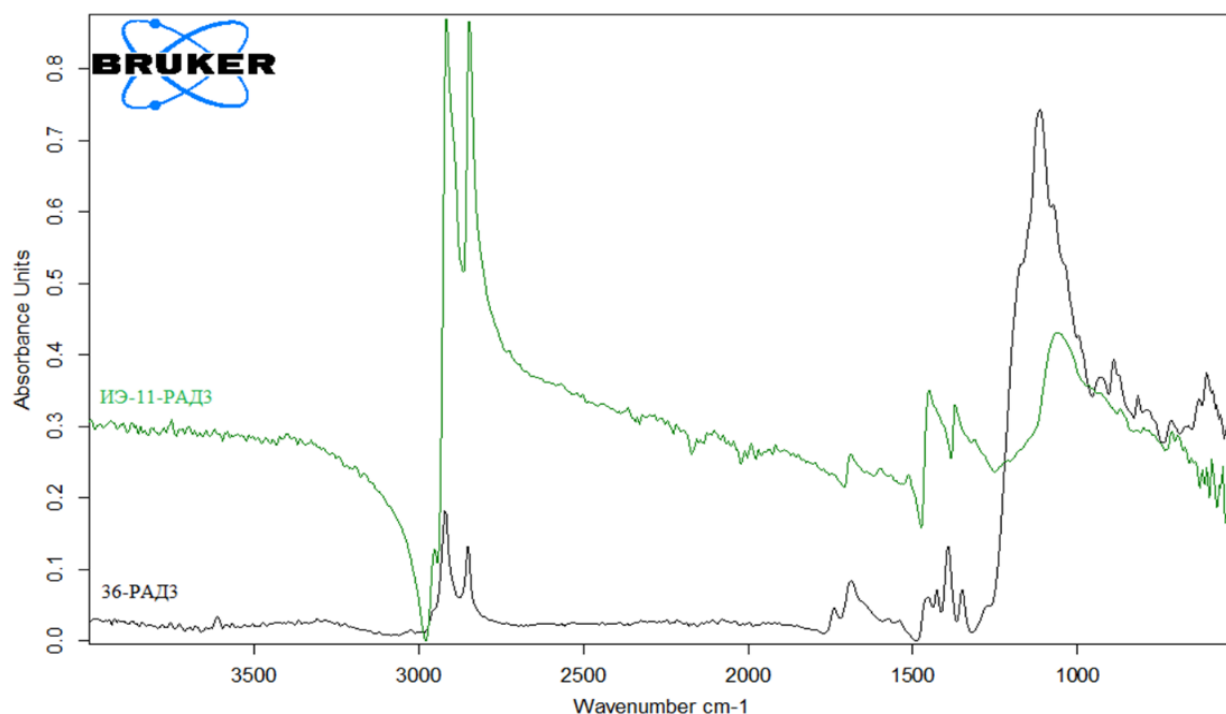


Рисунок IV.3 – ИК-спектр поглощения полимерного материала резины

В рамках экспериментальных исследований были получены данные, необходимые для разработки модели оценки гарантированного срока службы кабельной продукции с учётом эффекта десорбции стабилизаторов. Точный учёт данного эффекта позволяет повысить достоверность прогнозирования ресурса изоляции в условиях реальной эксплуатации, что имеет важное значение для обеспечения надёжности энергетических систем.

Экспериментальная часть данных исследований включала комплекс термоаналитических исследований, проведённых двумя взаимодополняющими методами. Во-первых, для оценки влияния парциального давления кислорода на кинетику окисления выполнялись измерения времени окислительной индукции (ВИ) в двух газовых средах — атмосферном воздухе и чистом кислороде. На рисунке IV.4 представлены типичные экспериментальные данные по измерению ВИ.

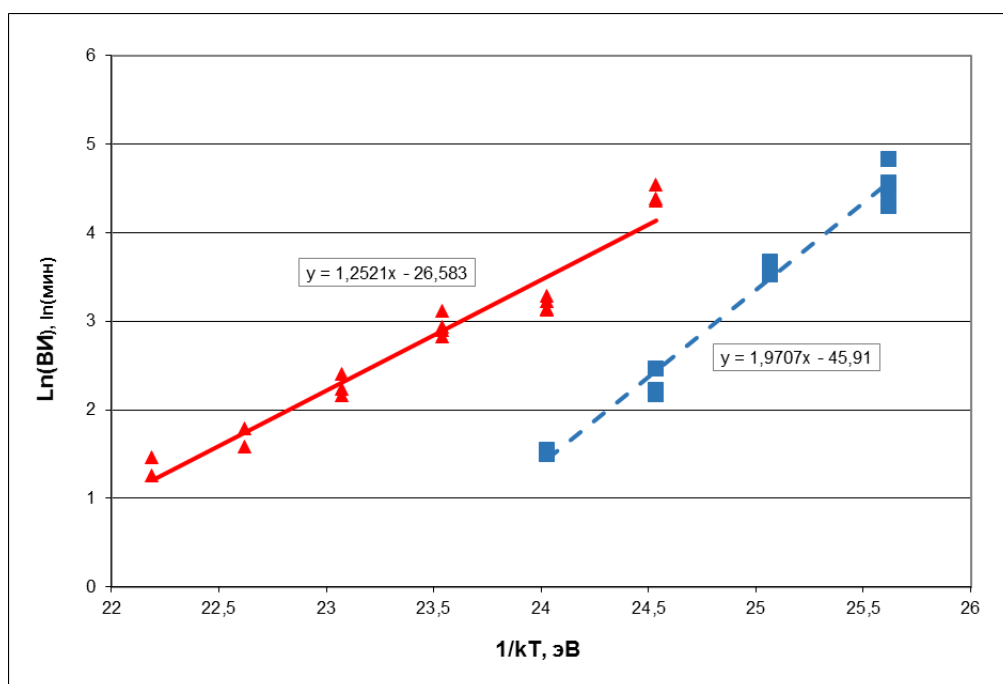


Рисунок IV.4 – Логарифм ВИ в зависимости от температуры выдержки изоляции СПЭ силового кабеля в ячейке прибора

Во-вторых, определялась температура окислительной индукции (ТОИ) в воздушной среде при варьировании скорости нагрева (2, 5, 10, 15 и 20 °С/мин) с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии.

Такой подход позволил получить репрезентативные данные о термической стабильности материала и скорости расходования антиоксидантной добавки. На рисунке IV.5 приведены типичная зависимости температуры окислительной индукции.

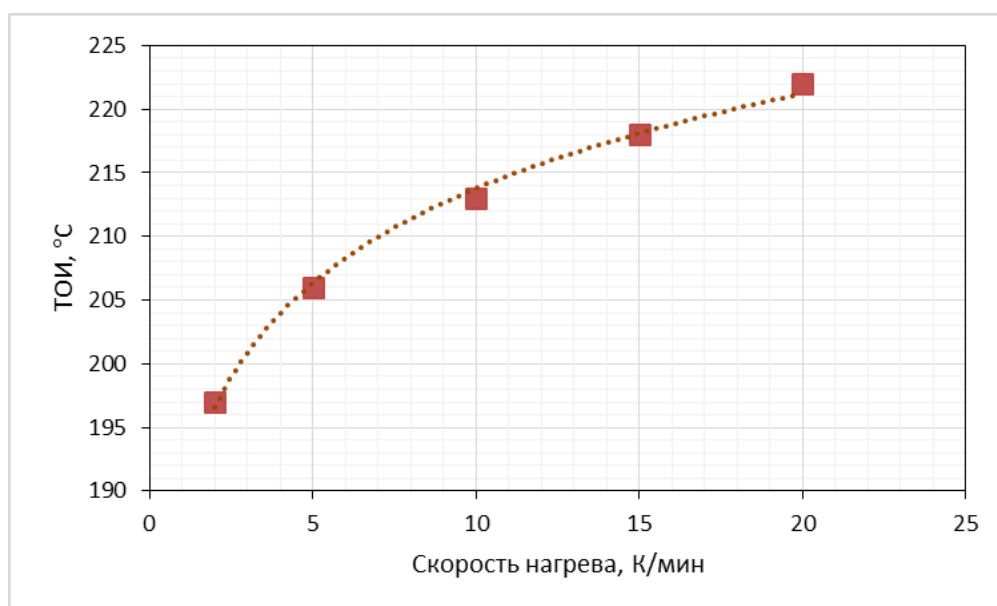


Рисунок IV.5 –Типовая зависимость температуры окислительной индукции от скорости нагрева

Сравнительный анализ этих результатов позволяет количественно оценить влияние концентрации кислорода на скорость деградации стабилизатора и формирует экспериментальную базу для расчётной модели старения изоляции из СПЭ.

Сравнительная оценка влияния старения на различные полимерные композиции показала существенную зависимость деградации от химического состава материала. Наиболее стабильными характеристиками обладает этиленвинилацетат (ЭВА), сохраняющий эластичность при более агрессивных внешних воздействующих факторов в виде повышенных температур и ионизирующего излучения. ПВХ-пластикаты ведут себя неоднозначно с общей тенденцией к снижению гибкости. Наибольшей деструкции подвержены резиновые оболочки, у которых зафиксирован резкий рост модуля упругости и падение удлинения, что указывает на быструю потерю эластичности и повышение хрупкости материала под воздействием температуры.

Основные результаты этапа 2025 года получены в полном соответствии с техническим заданием и календарным планом, включая проведение более 700 измерений в рамках впервые реализованного комплексного подхода к оценке физико-химических свойств КиПП. В результате выполненных работ была сформирована база исходных данных, содержащая показатели состояния для образцов кабелей и резин различных заводов-изготовителей и годов выпуска, в которую вошли 21 образец внешних полимерных оболочек, полимерные элементы 6 концевых муфт силовых кабелей и 2 партии вулканизированных резин.

В ходе работ изучена кинетика старения путем исследования расхода антиоксидантов в изоляции на основе СПЭ и ЭВА и измерения температуры и времени окислительной индукции для несостаренных и состаренных микрообразцов. Оценены методы механических испытаний, где сравнительные данные по классическому кинетическому, нано- и ударному индентированию подтвердили их универсальность и взаимодополняемость для всех типов полимеров. На основе проведенного анализа определены эффективные экспресс-методы оценки качества без длительных испытаний: методы ДСК для СПЭ и ЭВА, инструментальное индентирование для вулканизированных резин, термогравиметрический анализ для ПВХ пластикаты и термомеханический анализ для термоусаживаемых материалов.

В рамках работ по этапу 2025 года была выполнена подготовка к ускоренным испытаниям согласно ПМИ-2, включая разработку программы испытаний для 7 типов кабелей и 2 партий резин. В ходе предварительного контроля, предусматривающего кондиционирование при 70 °С в течение 24 часов и старение при 100 °С в течение 168 часов, были выявлены два типа кабеля, не соответствующего техническим требованиям. Этот результат подтверждает эффективность разработанного подхода к входному контролю и готовность к проведению полномасштабных ускоренных испытаний.

По состоянию на декабрь 2025 года уровень технологической готовности методических разработок достиг значения TRL 3 (лабораторное подтверждение концепции). Полученные экспериментальные данные будут использованы для выполнения работ 2-го и 3-го этапов НИОКР, которые будут направлены на

завершение полного цикла испытаний с использованием новой инструментальной базы, практическое оформление результатов в виде утвержденных методических документов, а также опробование методик для исключения поставок некачественной продукции и оптимизации сроков сертификации.

V. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПРОИЗВОДСТВО МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ БЕСТИГЕЛЬНОЙ ЗОННОЙ ПЛАВКИ

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» является единственным промышленным производителем кремния методом бестигельной зонной плавки (БЗП) в России.

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 – от 40 до 30000 Ом·см.

Фотографии, иллюстрирующие различные этапы процесса выращивания слитков монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки представлены на рисунке V.1.

В рамках развития производства кремния методом бестигельной зонной плавки и во исполнение государственного контракта в 2025 году АО «НИИП» продолжал выполнять ОКР по разработке технологий изготовления и организацию производств слитков и полированных пластин нейтронно-трансмутационно легированного монокристаллического кремния диаметром 150 мм. Реализация вышеуказанной ОКР позволит значительно расширить номенклатуру кремниевой продукции, производимой в АО "НИИП".

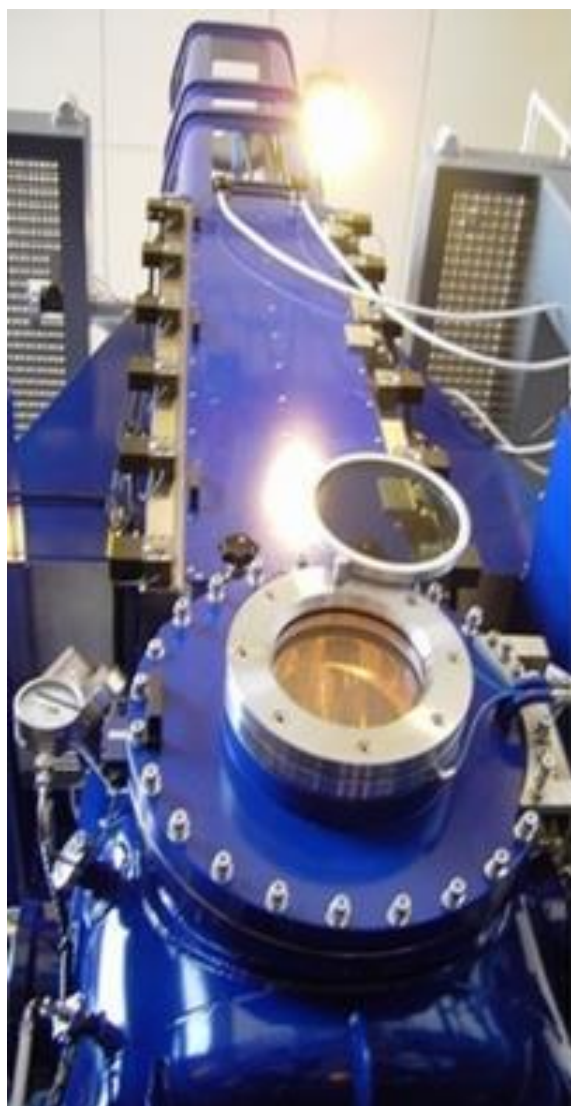


Рис. V.1. Фотографии, иллюстрирующие процесс выращивания слитков монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки

ОКР «РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ПРОВОЛОЧНОГО ОТРЕЗНОГО СТАНКА ДЛЯ ОТСЕЧЕНИЯ КОНУСОВ И НАРЕЗАНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ КРЕМНИЕВЫХ И ГЕРМАНИЕВЫХ СТЕРЖНЕЙ ДИАМЕТРОМ НЕ БОЛЕЕ 300 ММ И ЗАГОТОВОК ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО САПФИРА, КВАРЦА, АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ, КАРБИДА КРЕМНИЯ ДИАМЕТРОМ НЕ БОЛЕЕ 150 ММ»

В 2025 году в рамках государственного контракта АО «НИИП» продолжил выполнение ОКР по разработке и изготовлению опытного образца проволочного отрезного станка для отсечения конусов и нарезания заготовок из кремниевых и германиевых стержней диаметром не более 300 мм и заготовок из синтетического сапфира, кварца, арсенида галлия, карбида кремния диаметром не более 150 мм.

Целью выполнения ОКР является разработка конструкторской документации с литерой «О1» и изготовление опытного образца (далее – ОО) проволочного отрезного станка для отсечения конусов и нарезания заготовок из кремниевых и германиевых стержней диаметром не более 300 мм, синтетического сапфира, кварца, арсенида галлия, карбида кремния диаметром не более 150 мм (далее – Станок).

Функциональными аналогами данного изделия являются станки производства Meyer Burger (Швейцария), Linton Kayex (КНР), Diamond Wire Technologies (USA). Станки указанных производителей позволяют осуществлять следующие операции: отсечение конусов, отрезание тестовой шайбы, нарезание заготовки на части заданной длины.

На сегодняшний день в России отсутствуют производители Станков указанного типа, при этом данный тип оборудования является базовым в технологической цепочке производства. Вследствие возникающей необходимости технического перевооружения существующих в РФ производств, а также развития импортонезависимой отечественной силовой электроники существует значительная потребность в данном оборудовании.

Проведенные работы в 2025 году включили в себя:

1. Изучение функциональных аналогов иностранного производства, а также технологий резания кремния, германия, сапфира у потенциальных пользователей станка:
2. Разработку первоначальных конструкторских решений и документации на этап технического проекта. Иллюстрация принятых конструкторских решений представлена на рисунках V.2, V.3 и V.4.
3. Разработку конструкторской документации.
4. Изготовление составных частей станка. Иллюстрация составных частей станка представлена на рисунке V.5.

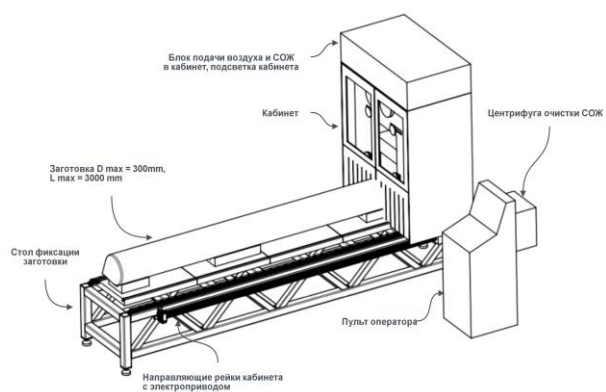


Рис. V.2. Внешний вид первоначальной конструкции станка с кабинетной защитой

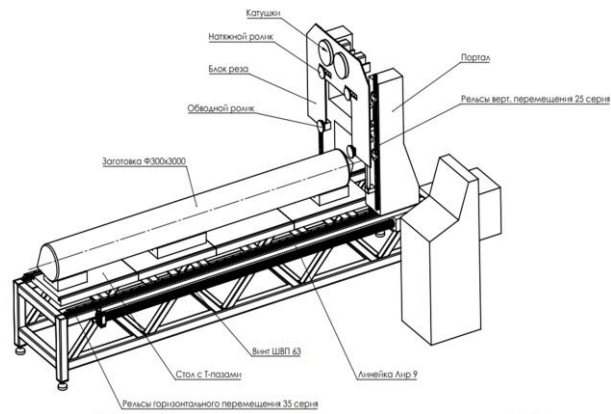


Рис. V.3. Внешний вид первоначальной конструкции станка, без кабинетной защиты

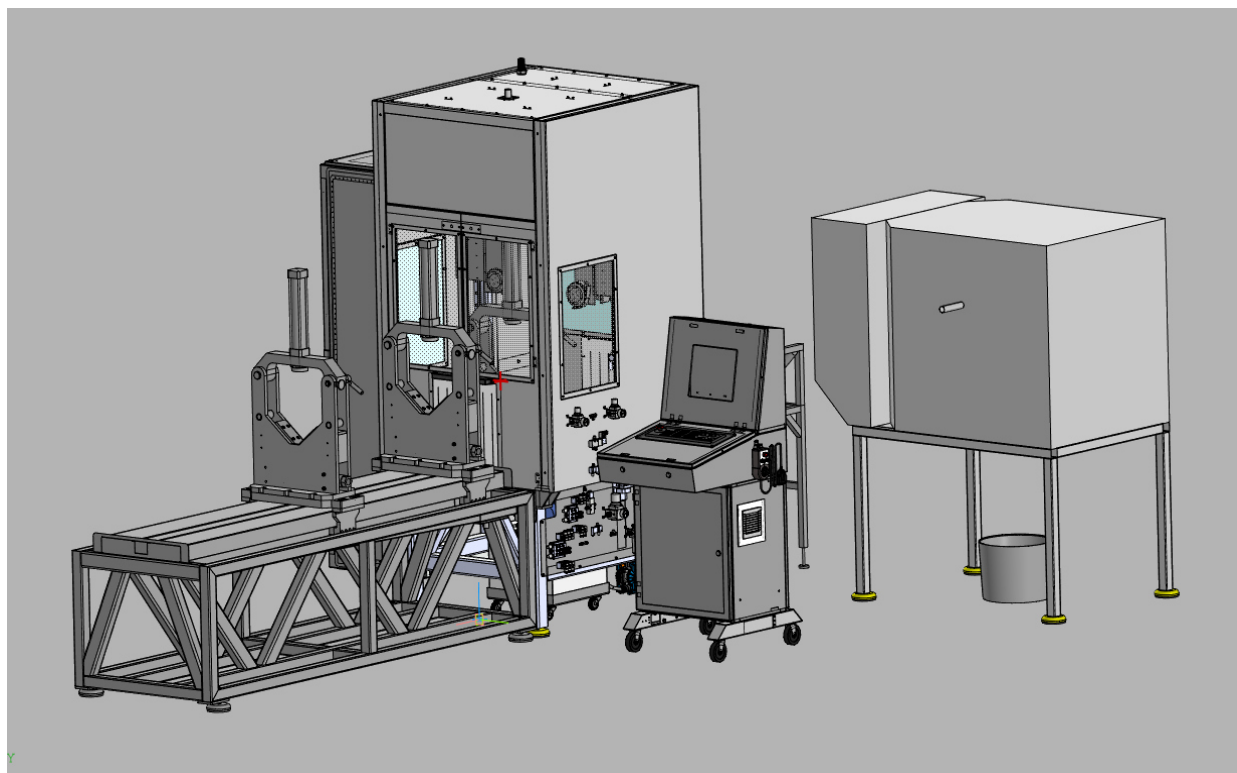


Рис. V.4 Финальная трехмерная модель станка



Рис. V.5 Чертежи общего вида и фотографии изготовленных частей станка

ОКР «РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ВЫРАЩИВАНИЯ БЕЗДИСЛОКАЦИОННЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ Si, В ТОМ ЧИСЛЕ ВЫСОКООМНОГО, МЕТОДОМ БЕСТИГЕЛЬНОЙ ЗОННОЙ ПЛАВКИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРЕЖНЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДУКЦИОННОГО ИСТОЧНИКА ПЛАВКИ»

В 2025 году в рамках государственного контракта АО «НИИП» продолжил выполнение ОКР по разработке и изготовлению опытных образцов установки выращивания бездислокационных монокристаллов Si, в том числе высокоомного, методом бестигельной зонной плавки кристаллического стрежня с использованием индукционного источника плавки.

Целью выполнения ОКР является разработка конструкторской документации с литерой «О1» и изготовление опытного образца установки выращивания монокристаллов Si, в том числе высокоомного, диаметром не менее 86 мм методом бестигельной зонной плавки (далее – БЗП) кристаллического стержня с использованием индукционного источника плавки (далее – Установка).

Функциональными аналогами данного оборудования являются установки производства PVA TePla (Дания), Steremat (Германия). Установки указанных производителей позволяют осуществлять синтез, глубокую очистку синтезированного соединения и выращивание из него бездислокационного монокристалла Si с диаметрами 86 мм и более с пониженным содержанием кислорода и углерода.

На сегодняшний день в России отсутствуют производители установок выращивания монокристаллов Si методом бестигельной зонной плавки кристаллического стержня с использованием индукционного источника плавки. Вследствие возникающей необходимости технического перевооружения существующих в РФ производств, а также развития импортонезависимой отечественной силовой электроники существует значительная потребность в данном оборудовании. Прямые отечественные аналоги данного оборудования отсутствуют.

Разрабатываемое в рамках ОКР оборудование должно обеспечивать выращивание монокристаллов кремния (слитков) методом БЗП со следующими характеристиками:

- диаметр слитка – не менее 86 мм;
- длина слитка – не менее 300 мм;
- кристаллографическая ориентация – $\langle 111 \rangle$, $\langle 100 \rangle$;
- тип проводимости – дырочный и электронный;
- УЭС – до 30 кОм·см;
- отклонение УЭС по радиусу – не более 20 %;
- отклонение УЭС по длине – не более 35 %;

- время жизни ННЗ – не менее 500 мкс;
- содержание углерода - не более $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$;
- содержание кислорода - не более $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$;
- содержание металлов – не более $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$;
- плотность дислокаций – не более $0,1 \text{ см}^{-3}$.

В 2025 году был выполнен и успешно сдан второй этап ОКР в ходе которого были выполнены следующие работы:

- проведена оптимизация цифровой модели процесса роста бездислокационного монокристалла кремния;
- разработана программа обеспечения надежности;
- проведен расчет надежности Установки;
- разработана и изготовлена автоматизированная система управления технологическим процессом роста слитков на Установке;
- закуплено оборудование для системы видеонаблюдения и измерения параметров роста слитка;
- разработана проектная документация на размещение и монтаж опытного образца Установки;
- разработана эксплуатационная документация на опытный образец Установки в виде руководства по эксплуатации и паспорта;
- разработан проект технических условий на Установку;
- разработана рабочая конструкторская документация на Установку;
- разработан комплект технологической документации на изготовление Установки.

На рисунке V.6 представлена 3D модель разработанной Установки.

В 2025 году АО «НИИП» приступило к выполнению третьего этапа ОКР, в рамках которого будет изготовлен опытный образец Установки, а также разработаны программы и методики предварительных и приемочных испытаний опытного образца.



Рис. V.6. 3D модель установки для выращивания бездислокационных монокристаллов Si методом бестигельной зонной плавки кристаллического стержня с использованием индукционного источника плавки

ВЫРАЩИВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ПОДЛОЖКАХ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ

В 2025 году в АО «НИИП» был введен в опытную эксплуатацию цех для выпуска эпитаксиальных структур GaAs $p^+ - \text{pin} - n^+$ методом жидкофазной эпитаксии на подложках арсенида галлия диаметром 76 мм, предназначенных для изготовления силовых диодов с рабочим напряжением до 1200 В.

Ввод цеха в опытную эксплуатацию осуществлялся в целях запуска технологического процесса жидкофазной эпитаксии на подложках арсенида галлия, проверки готовности оборудования, проверки готовности инженерных систем и организационных процедур к стабильной работе в производственном режиме. Состав цеха для опытной эксплуатации включает чистую зону с инженерными системами, производственное оборудование, контрольное и измерительное оборудование, а также необходимые технологические участки и вспомогательные помещения. При вводе цеха в опытную эксплуатацию выполнялись пусконаладочные мероприятия, проверка технологических связей, настройка и согласование работы эпитаксиальных установок, систем охлаждения, газоснабжения, вакуумизации, электроснабжения, водоподготовки, вентиляции и средств контроля.

В рамках устранения ряда недостатков в работе технологического оборудования за 2025 год были выполнены следующие основные работы:

- по механизмам реакторов - устранены износ и заедание механизмов поворота реакторов на установках «LPE pin» и «LPE n^+ »; установлена новая конструкция поворотного механизма, работоспособность систем подтверждена испытаниями;
- по газовым постам - полностью пересобраны азотный и водородный газовые посты, устранены негерметичность редукторов и неплотные соединения между трубками; после проведенного ремонта утечки газов не фиксируются;
- по газовой безопасности - проверена работа газовой сигнализации и системы отсечки газов при обнаружении утечки водорода; установлено, что срабатывание систем происходит штатно.

Опытная эксплуатация цеха по производству жидкофазной эпитаксии GaAs позволила отработать основные технологические режимы, выявить конструктивные и организационные недостатки, а также последовательно выполнить мероприятия по их устранению.

VI. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. НОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

НИОКР «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДАТЧИКОВ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ»

Целью НИОКР, выполняемой в рамках Единого отраслевого тематического плана Госкорпорации «Росатом», является разработка технологии проектирования и изготовления датчика угловых скоростей (ДУС) на основе волнового твердотельного гироскопа (ВТГ) с металлическим резонатором и проектирование и изготовление опытного образца ДУС со значением дрейфа нуля не более 1 град/час.

В 2025 году был выполнен второй этап проекта. В рамках работ по второму этапу проекта была выполнена разработка и проведено изготовление опытных образцов ДУС, была разработана и согласована с потенциальным заказчиком программа и методика испытаний ДУС, а также проведены предварительные испытания образцов ДУС. В рамках работ по проекту в АО «НИИП» были установлены два испытательных стенда – поворотных стола с термокамерой, стенды корпусирования, вакуумирования, проверки герметичности образцов ДУС.

Фотографии изготовленных образцов ДУС представлены на рисунках VI.1 и VI.2.

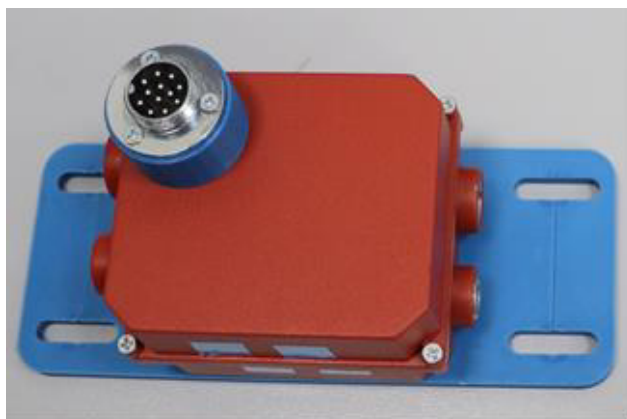


Рис. VI.1 – Фотография ДУС в корпусе



Рис. VI.2 – Фотография образцов ДУС на испытаниях

НИОКР «ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАЛЫХ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ И ИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ»

В 2025 году был выполнен первый этап работ НИОКР «Исследования и разработка технологии изготовления многофункциональных малых безэкипажных катеров и их систем управления», выполняемой в рамках Единого отраслевого тематического плана Госкорпорации «Росатом».

В рамках первого этапа работы были определены требования к материалам и комплектующим, проведено расчетное моделирование геометрических параметров разных видов безэкипажных катеров (БЭК), разработана технологическая документация и выполнено изготовление двух образцов малых многофункциональных БЭК, разработана программа и методика их испытаний.

Для изготовления образцов БЭК применены малогабаритные водометные двигатели, начата работа по созданию оригинального водометного двигателя повышенной тяговооруженности.

Созданные образцы БЭК позволяют выполнять транспортировку груза до 100 кг со скоростью не менее 30 км/ч.

Также в рамках работ создана и опробована на экспериментальном образце система дистанционного управления БЭК с функциями управления полезной нагрузкой. Система управления выполнена в блочно-модульном исполнении, что обеспечивает ее живучесть, ремонтпригодность и позволяет проводить быструю модернизацию в зависимости от возникающих задач.



Рис. VI.3 – Фотография малого многофункционального БЭК с полезной нагрузкой

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 2025 году были выпущены четыре выпуска сборника «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру», в которых было опубликовано 26 научно-технических статей. Перечень научно-технических статей, опубликованных в сборнике «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру» в 2025 году приведен ниже.

ВЫПУСК 1

Ватуев А.С., Шарапов А.А., Озеров А.И. Применение статистического анализа распределения амплитуд откликов для оценки сечения одиночных эффектов при воздействии сфокусированного лазерного излучения

Ткачёв О.В., Дубровских С.М., Коновалов А.А., Кошкина К.Д. Термомеханический эффект в лазерных диодах на основе GaAs

Ткачев О.В., Аверяскин А.С., Кустов А.С., Применко А.В., Солпанов Р.А. Многократные сбои, индуцированные тепловыми и термоядерными нейтронами в микросхемах СОЗУ 130 нм

Емельянов В.В., Сиделев А.В., Нестеренко А.Е. Модель накопления радиационно-индуцированного заряда в детекторах поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе МНОП-транзисторов

Ткачев О.В., Ступаков А.А., Кустов А.С. Температурный отжиг динамических ОЗУ, облученных нейтронами, протонами и гамма-квантами

Гладких Т.В., Зольников К.В., Грошева Е.В. Модели неисправных элементов в системе автоматизации проектирования на схемотехническом уровне при радиационном воздействии

ВЫПУСК 2

Сиделев А.В. Сравнение радиационной чувствительности детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения с чувствительными элементами на основе МОП- и МНОП-транзисторов

Егоров А.Н., Маврицкий О.Б., Печенкин А.А., Холина М.С., Харченко М.Э., Дорохов В.А. Исследование эффектов в GaN HEMT при многофотонном фемтосекундном лазерном возбуждении сквозь подложку

Здарьев А.Е., Киселёв Ф.К., Лазарев С.А. Моделирование ЛПЭ-спектра ионов

Сиделев А.В., Емельянов В.В., Нестеренко А.Е. Радиационная чувствительность детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения с чувствительными элементами на основе р-канальных МНОП-транзисторов при различной полярности напряжения на затворе

Иванова М.С., Ткачёв О.В., Березовская М.Г., Кустов А.С., Илларионова И.А., Приходько И.Д. Диагностика нейтронного и гамма-излучений на нейтронном генераторе традиционными методами фотонной дозиметрии

Артёмов М.Е., Комбаев Т.Ш. К вопросу о радиационной нагрузке на бортовую аппаратуру лунного кубсата

Гвоздев И.С., Протопопов Г.А. Определение параметров алгоритмической защиты изделий электронной компонентной базы от одиночных сбоев с учетом прогнозируемых условий эксплуатации космических аппаратов

ВЫПУСК 3

Орешко А.П., Протопопов Г.А., Яковлев М.В. Радиационные испытания элементов микроэлектроники при эффектах низкой интенсивности

Ткачев О.В., Березовская М.Г., Иванова М.С., Носовец В.С. Расширение диапазонов применения термoluminesцентных детекторов методами ЭПР-дозиметрии

Грунин А.В., Лазарев С.А., Крылевский Е.Н., Полётова Т.И., Мамаева Е.А., Сурусина В.И., Эльяш С.Л. Ионизационный детектор с рабочим телом из диэлектриков

Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Зольников К.В., Махиборода М.А., Конча М.И. Преобразования элементов уровней проектирования с учетом радиационного воздействия

Кириллов А.В., Алексеев И.А., Лойко Ю.С., Метелев А.П., Савинов Д.Ю., Сапожников В.А., Федоров А.А. Применение двухкамерного газового коммутатора в системе формирования импульса ускорителя УИН-10

Артёмов М.Е., Комбаев Т.Ш. Требования к радиационной стойкости ЭРИ малого перелетного модуля и беспилотного самолёта для исследования Марса

Бублик М.А., Ткачев О.В., Каменский М.В., Сосновский А.В. О возможности оценки временного разрешения детекторов импульсного ионизирующего излучения с помощью дефектоскопа «САРМА-300»

ВЫПУСК 4

Усеинов Р.Г., Зебрев Г.И., Шарапов А.А. Аналитическая модель для вычисления сечения тиристорного эффекта в ИС КМОП-технологии от нейтронов и протонов с учетом влияния температуры

Усеинов Р.Г., Шарапов А.А. Анализ сечений SEL от протонов и нейтронов в КМОП ИС памяти K6R4016V1D-TC10

Зольников В.К., Корецкий Д.К., Попов В.А., Литвинов Н.Н., Аникеев Е.А., Авилов Ю.О. Анализ основных неисправностей сложных цифровых систем при радиационном воздействии

Ткачев О.В., Ступаков А.А., Кустов А.С. Быстрый отжиг индуцированных нейтронами структурных повреждений в динамических ОЗУ

Протопопов Г.А., Яковлев М.В. Структурные схемы надежности космического аппарата с учетом воздействия ионизирующих излучений космического пространства

Гвоздев И.С., Протопопов Г.А. Динамическая оценка частоты одиночных сбоев на основе бортовых измерений потоков заряженных частиц

В рамках проведения 28-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 70 работ. С 2021 года данный сборник индексируется в системе Российского индекса научного цитирования – РИНЦ. Сборник распространяется среди участников конференции.

VIII. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

3 – 4 июня 2025 г. АО «НИИП» в соответствии с Планом проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2025 год провел 28-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию «Радиационная стойкость электронных систем» - «СТОЙКОСТЬ-2025». Конференция проводилась в отеле «Звезды Арбата», г. Москва. Конференция была организована при поддержке АНО «Корпоративная Академия Росатома».



В работе конференции приняли участие 162 специалиста из 42-х предприятий и организаций Российской Федерации. На конференции были представлены 93 доклада, в том числе 26 устных и 67 стендовых докладов, которые представили ведущие специалисты предприятий и организаций Росатома, Роскосмоса, Минобрнауки, Минпромторга России, а также Российской академии наук по следующим тематическим направлениям:

- Внешние радиационные условия эксплуатации изделий электронной техники, электротехники и аппаратуры.
- Радиационные и электромагнитные эффекты в изделиях радиоэлектроники, механизмы деградации параметров, отказы, одиночные сбои.
- Оценка и обеспечение радиационной стойкости и надежности изделий электронной техники, электротехники, аппаратуры,

радиотехнических материалов, в том числе материалов космического назначения.

- Расчётные и экспериментальные методы определения радиационной стойкости изделий.
- Испытательные установки, дозиметрическое и метрологическое сопровождение испытаний.

К началу конференции был выпущен сборник тезисов докладов конференции «Стойкость-2025», который индексируется в системе Российского индекса научного цитирования – РИНЦ.

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

1 – 3 июля 2025 г. АО «НИИП» в соответствии с Планом проведения научных и научно-технических мероприятий Госкорпорации «Росатом» на 2025 год провел 19-ю школу-семинар «Методы оценки и обеспечения радиационной стойкости изделий электронной техники» – «Радиационная стойкость» имени В.Н. Улимова - 2025.



Школа-семинар была проведена на базе Культурно-просветительского центра «Академия Маяк» имени А.Д. Сахарова, г. Нижний Новгород. Мероприятие было организовано при поддержке АНО «Корпоративная Академия Росатома»

В программу школы-семинара вошли 14 лекций по наиболее актуальным вопросам физики радиационного воздействия на электронную компонентную базу, радиоэлектронную аппаратуру и материалы, применяемые в электронике и электротехнике. Лекции были представлены специалистами АО «НИИП», АО «НИИ КП», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», ИКИ РАН.

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

ПРИЛОЖЕНИЕ

Список публикаций сотрудников АО «НИИП» за 2025 год

1. Ватуев А.С., Шарапов А.А., Озеров А.И. Применение статистического анализа распределения амплитуд откликов для оценки сечения одиночных эффектов при воздействии сфокусированного лазерного излучения: Вопросы атомной науки и техники. Сер: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2025. Вып. 1. С. 5-11.
2. Емельянов В.В., Сиделев А.В., Нестеренко А.Е. Модель накопления радиационно-индуцированного заряда в детекторах поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе МНОП-транзисторов. Вопросы атомной науки и техники. Сер: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2025. Вып. 1. С. 24-31.
3. А.В. Сиделев, Сравнение радиационной чувствительности детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения с чувствительными элементами на основе МОП- и МНОП-транзисторов. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2025. Вып. 2. С. 5-8.
4. А.В. Сиделев, В.В. Емельянов, А.Е. Нестеренко Радиационная чувствительность детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения с чувствительными элементами на основе р-канальных МНОП-транзисторов при различной полярности напряжения на затворе. Вопросы атомной науки и техники. Сер: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2025. Вып. 2. С. 23-27.
5. А.В. Кириллов, И.А. Алексеев, Ю.С. Лойко, А.П. Метелев, Д.Ю. Савинов, В.А. Сапожников, А.А. Федоров Ускоритель УИН-10 с двухкамерным газовым коммутатором в системе формирования импульсов. Вопросы атомной науки и техники. Сер: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2025. Вып. 3. С. 29-34.
6. Усеинов Р.Г., Зебрев Г.И., Шарапов А.А. Аналитическая модель для вычисления сечения тиристорного эффекта в ИС КМОП технологии от нейтронов и протонов. Вопросы атомной науки и техники. Сер: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2025. Вып. 4. С. 5-13.
7. Усеинов Р.Г., Шарапов А.А. Анализ сечений SEL от протонов и нейтронов в КМОП ИС памяти K6R4016V1D-TC10. Вопросы атомной науки и техники. Сер: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2025. Вып. 4. С. 14-20.
8. A.V. Kir'yanov, A. Halder, V.P. Minkovich, S.I. Didenko, K.I. Tapero. Bismuth/Yttria co-doped aluminosilicate fiber: impact of electron irradiation on optical properties. Laser Phys. 2025. Vol. 35 (045101). <https://doi.org/10.1088/1555-6611/adbad4>.
9. Щепелев Р.М., Мысовский А.А. Подготовка к выводу из эксплуатации исследовательского ядерного реактора ИРВ-М2 на производственной площадке АО «НИИП». Вопросы атомной науки и техники. Сер: Ядерно-реакторные константы. 2025. № 3. С. 67-80.
10. А.П. Мелехов, Е.Д. Вовченко, К.А. Иванов, К.И. Козловский, П.В. Москвич, Г.Х. Салахутдинов, И.Г. Григорьева, И.А. Бусыгина.

Спектры рентгеновского излучения вакуумной искры с лазерным инициированием на катоде или аноде. Квантовая электроника. 2025. Вып. 55, № 3. С. 171-174.

11. Арзамасцева Д.М., Петров А.С. Механизмы радиационной деградации пробивного напряжения р-п-переходов мощных МОП-транзисторов с различными структурами. Наноиндустрия. 2025. Т. 18. № S11-3 (135). С. 1093-1096.

12. Д.М. Бакеренкова, А.С. Петров. Влияние встраивания поверхностных состояний на стойкость мощных металлооксидных полупроводниковых полевых транзисторов к электростатическому разряду. Russian Technological Journal. 2025. Т. 13, № 6.

13. Д.М. Бакеренкова, А.С. Петров. Метод экстракции коэффициента усиления паразитного биполярного транзистора мощных МОП-транзисторов. Датчики и системы. 2025. № 12.

14. Д.М. Бакеренкова, А.С. Петров. Определение параметров гексагональных металлооксидных полупроводниковых полевых транзисторов. Вестник Рязанского Государственного Радиотехнического Университета. 2025. № 94.

15. Е.Н. Некрасова, Т.Б. Мавлюдов, Оценка дозовых полей тормозного излучения от импульсных ускорителей электронов. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 31.

16. Г.И. Зебрев, Р.Г. Усейнов, А.А. Матейко, А.С. Родин, Методология оценки вероятности одиночной защелки при воздействии ионов и протонов в космосе. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 37-39.

17. Д.М. Бакеренкова, А.С. Петров, Определение параметров гексагональных МОП-транзисторов. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2028», сб. тезисов. 2028, С. 42-43.

18. Д.М. Бакеренкова, А.С. Петров, Влияние изменения коэффициентов лавинного умножения МОП-транзисторов на стойкость к электростатическому разряду. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 44-45.

19. Д.М. Бакеренкова, М.В. Баньковский, А.С. Петров, Исследование возникновения одиночных радиационных эффектов в мощных МОП-транзисторах при воздействии нейтронов и протонов. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 46-47.

20. М.А. Тюрников, М.С. Петров, А.С. Петров, Исследование одиночных радиационных эффектов в микросхемах статических ОЗУ при воздействии нейтронов и протонов. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 48-49.

21. А.Э. Земцов, С.А. Филатов, А.С. Петров, Исследование одиночных радиационных эффектов в микросхемах флэш памяти с архитектурой NAND при воздействии нейтронов и протонов. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 50-51.

22. А.С. Петров, В.В. Емельянов, Р.Г. Усейнов, Д.М. Бакеренкова, М.В. Баньковский, А.Э. Земцов, М.С. Петров, М.А. Тюрников, С.А. Филатов, Оценка показателей стойкости к воздействию нейтронного излучения в части одиночных радиационных эффектов в практике испытаний. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2028», сб. тезисов. 2025, С. 52-53.

23. В.В. Емельянов, А.В. Сиделев, А.Е. Нестеренко, Определение выхода заряда в диоксиде кремния при воздействии гамма-излучения с помощью МНОП-структуры. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 54-55.

24. Р.Г. Усейнов, В.В. Емельянов, А.С. Петров, М.А. Тюрников, Интерпретация экспериментальных данных по сечениям одиночных сбоев в ИС КМОП СОЗУ и

оценка частот сбоев от нейтронов в широком интервале энергий. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 56-57.

25. Р.Г. Усеинов, А.А. Шарапов, Расчет сечений и частот одиночных сбоев от нейтронов различного энергетического спектра с использованием программы GEANT4 и BGR метода на основе экспериментальных сечений от ТЗЧ. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 58-59.

26. А.А. Шарапов, П.В. Рубанов, А.С. Ватуев, Учет рассеяния пучков частиц при расчете локальных дозовых нагрузок. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 60-61.

27. А.С. Ватуев, А.А. Сафьянов, А.Н. Махиня, А.К. Липский, Особенности проведения испытаний высоковольтных диодов на моделирующих установках АО «НИИП». 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025»: сб. тезисов. 2025. С. 62-63.

28. И.А. Бусыгина, П.Ю. Наумов, Г.Х. Салахутдинов, Н.В. Юрков, Спектрометрия изотопных источников гамма-излучения методом фильтров поглощения. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 64-65.

29. И.А. Бусыгина, П.Ю. Наумов, Г.Х. Салахутдинов, Н.В. Юрков, Методы регистрации рентгеновского излучения импульсных источников. Создание комплексов спектрометров для исследования импульсного рентгеновского излучения. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 66-68.

30. Р.С. Плишко, Ю.С. Лойко, И.А. Бусыгина, Определение характеристик электронного поля установки АРСА, работающей в режиме вывода электронов. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 69-70.

31. А.В. Кириллов, И.Н. Микулин, Д.М. Иващенко, Модернизация устройства запуска разрядников батареи магнитного поля и генератора ГИН-100 на установке ЛИУ-10. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025»: сб. тезисов. 2025. С. 71-72.

32. Д.М. Иващенко, В.В. Кочергин, А.К. Липский, А.Н. Махиня, А.А. Сафьянов, Экспериментальные исследования и оптимизация компактного генератора одиночных импульсов напряжения. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 73.

33. Д.М. Иващенко, В.В. Кочергин, А.К. Липский, А.Н. Махиня, А.А. Сафьянов, Компактный датчик для измерения единичных импульсов тока. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025, С. 74-75.

34. Е.В. Тулисов, А.Б. Гирко, И.В. Медведев, П.В. Боголюбова, И.А. Бусыгина, В.А. Рахимова, А.В. Кириллов, И.А. Алексеев. Формирование полей тормозного излучения в полезном испытательном объеме помехозащищённого комплекса установки ЛИУ-10 магнитным полем изменённого выводного устройства. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 76-77.

35. А.А. Мысовский, Ретроспективный обзор испытательной базы АО «НИИП» и концепции по выводу из эксплуатации данных исследовательских ядерных установок. 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 78-79.

36. С.Н. Аболмасов, А.В. Кочергин, А.С. Титов, Е.И. Теруков, Д.М. Бакеренкова, А.С. Петров, К.И. Таперо. Радиационная стойкость высокоэффективных кремниевых гетероструктурных солнечных элементов к воздействию

ионизирующего излучения космического пространства, 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 143-144.

37. Р.Г. Усеинов, А.А. Шарапов, Анализ сечений SEL от протонов и нейтронов в КМОП ИС памяти K6R4016V1D-TC10, 28-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2025», сб. тезисов. 2025. С. 144-145.