




НИИП  
РОСАТОМ

# ГОДОВОЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ АО «НИИП» ЗА 2021 ГОД

**Акционерное общество  
«Научно-исследовательский  
институт приборов»**

**ЛЫТКАРИНО 2022**



# ГОДОВОЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ АО «НИИП» ЗА 2021 ГОД

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборов»

Лыткарино 2022

---

Контактная информация:  
промзона Тураево, строение 8, г. Лыткарино, Московская область, 140080  
Тел. 8-495-663-90-95  
Факс 8-495-663-90-74  
E-mail: [risi@niipribor.ru](mailto:risi@niipribor.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

I. Вступительное слово генерального директора .....	3
II. О предприятии .....	5
III. Результаты деятельности по основным направлениям .....	14
IV. Прочие научно-технические достижения .....	31
V. Научно-технические мероприятия .....	39
VI. Заключение .....	41

# I. Вступительное слово генерального директора

Несмотря на новые вызовы и сложную экономическую ситуацию, в 2021 году удалось реализовать научную программу и программу развития предприятия в полном объеме. Мы планомерно движемся к достижению наших стратегических целей, которые включают как развитие традиционных направлений деятельности, так и развитие новых направлений. В качестве вступительного слова к настоящему отчету уместно напомнить данные цели.

В части направления испытаний электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры на радиационную стойкость наша стратегическая цель – занять лидирующие позиции в области радиационных испытаний и достигнуть 50% объема рынка РФ. В части направления технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергетики наша стратегическая цель – это создание отраслевого центра испытаний и технического диагностирования кабелей, электротехнического оборудования и неметаллических материалов. В части направления производства монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки с последующим нейтронно-трансмутационным легированием наша стратегическая цель – выход на мировой рынок с пакетным предложением продукта в виде слитков кремния с диаметрами до 150 мм.

Развитие новых направлений на предприятии является отдельной стратегической задачей. Для этого на предприятии создается управление научных исследований и разработок. В задачи данного управления будут входить подготовка и реализация проектов в рамках программы ЕОТП и проектов в рамках «Комплексной программы инициативных, поисковых и задельных работ в научных организациях АО «Наука и инновации».

Отдельной стратегической задачей является развитие кадрового потенциала. Данная задача должна решаться на основе привлечения к сотрудничеству с последующим трудоустройством студентов опорных вузов: НИЯУ МИФИ, НИТУ МИСиС, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В настоящем отчете представлены краткая ретроспектива деятельности АО «НИИП» за период с момента создания предприятия до сегодняшнего дня, описание экспериментально-стендовой базы. Основное внимание уделено научным результатам, полученным АО «НИИП» в 2021 году, представлены описания выполненных предприятием научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ. Все выполняемые работы были направлены на достижение стратегических целей предприятия, приобретение новых компетенций, развитие новых и уже имеющихся направлений деятельности.

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

## II. О предприятии

В 1955 году три министерства – общего машиностроения, авиационной промышленности и среднего машиностроения – приступили к разработке экспериментальной крылатой ракеты с ядерным двигателем (проект «КАР»). Минсредмашу была поставлена задача организовать выпуск тепловыделяющих керамических элементов на основе окиси бериллия и построить стенд для испытания модельного керамического реактора. Это было реализовано в подмосковном Лыткарине. 28 марта 1956 года по поручению Совета Министров СССР в промзоне Тураево рабочего поселка Лыткарино для испытания модельного керамического реактора начали сооружение стенда Ц-14. В ноябре 1960 года на базе этой установки сформировалась Испытательная лаборатория высокотемпературных атомных реакторов (ИЛВАР). Позже ее переименовали в Лабораторию измерительных приборов (ЛИП), она отвечала за испытания новых бортовых ядерных энергетических установок. В следующие 10 лет лаборатория обзавелась уникальной экспериментальной базой: первым в СССР стендом для испытаний и доводки высокотемпературных атомных энергетических установок космического назначения, стендовыми комплексами Ц-14Э и Т для натуральных наземных испытаний космических ядерных энергетических установок, предназначенных для питания долгоживущих искусственных спутников Земли.

В конце 1960-х годов на базе лаборатории создается Межведомственный центр радиационных испытаний (МЦРИ) – головная научно-исследовательская организация по проблеме радиационной стойкости. Основным профилем центра становятся исследования и испытания изделий электронной техники и радиоэлектронной аппаратуры на радиационную стойкость, разработка программ и методик проведения

испытаний электронной компонентной базы и блоков радиоэлектронной аппаратуры, разработка методов дозиметрии ионизирующего излучения. В 1972 году Лаборатория измерительных приборов была переименована в Научно-исследовательский институт приборов (НИИП).



Рисунок 1. Фотография площадки АО «НИИП», сделанная в 60-х годах прошлого века

1970-1980-е – золотой век предприятия. В эксплуатацию вводят установки, строят здания, расширяют штат. В эти годы на предприятии были созданы исследовательские ядерные реакторы, импульсные ускорители электронов, изотопные установки, механические и климатические стенды. К началу 1980-х годов на предприятии трудилось более 1,2 тысяч сотрудников.

Юрий Тутуров, заместитель директора по науке 1972-1991, характеризовал данный этап развития предприятия так: «В этот период мы вырастили научные кадры. У нас была аспирантура и свой совет по защите кандидатских диссертаций, у нас защитились около 30 кандидатов наук. Была создана материальная база для работ по радиационной стойкости. Участвуя в натурных опытах, наши сотрудники подготовили методики переноса данных по радиационному воздействию, полученных на установках, в реальные условия. Все это позволило реально осуществлять возложенную на нас функцию всесоюзного центра по вопросам радиационной стойкости радиоэлектронной аппаратуры военного назначения».



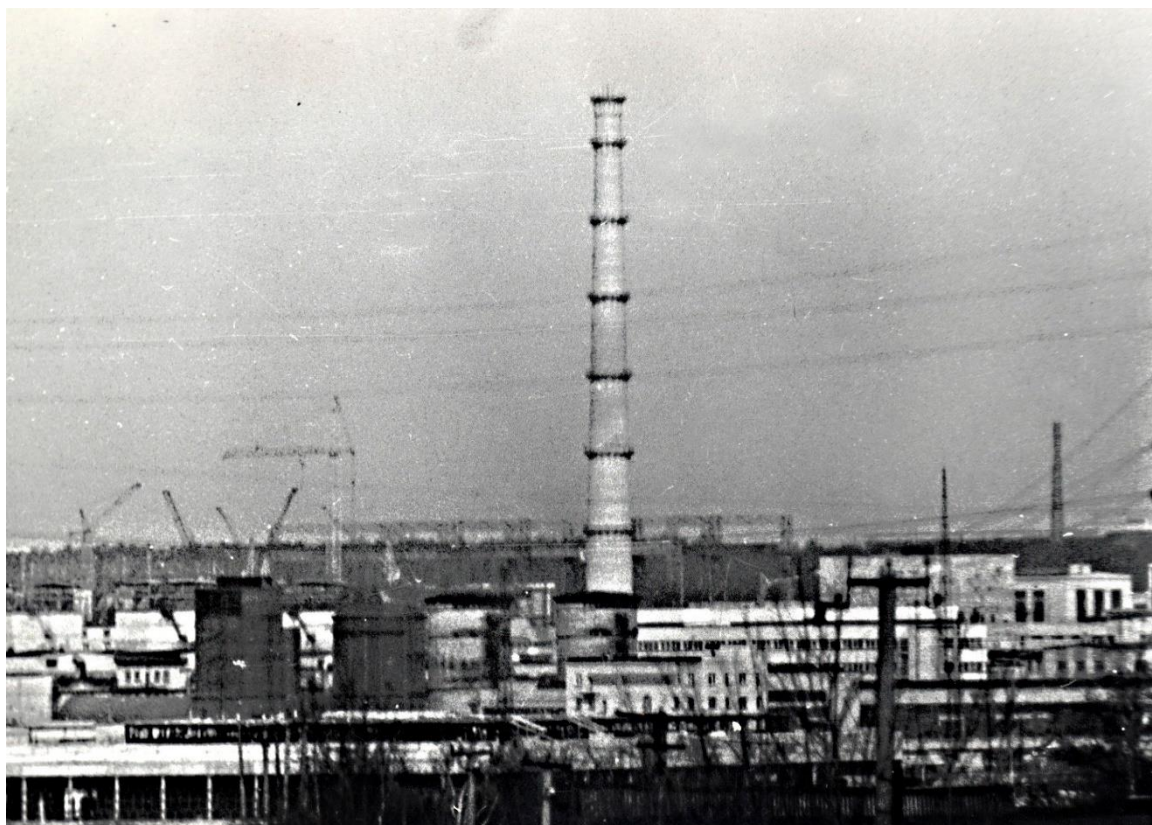


Рисунок 2. Фотография площадки АО «НИИП», сделанная во второй половине 70-х годов прошлого века

В 2001 году НИИП получил статус ФГУП «НИИП» – Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт приборов».

В 2016 году ФГУП «НИИП» приобрел статус акционерного общества «Научно-исследовательский институт приборов» (АО «НИИП»).

В настоящее время АО «НИИП» осуществляет деятельность по следующим основным направлениям:

- проведение испытаний электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры на радиационную стойкость;
- техническое диагностирование и управление ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергетики;
- производство нейтронно-легированного монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки.




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

Перечень основного испытательного оборудования АО «НИИП» по направлению радиационных испытаний ЭКБ и РЭА представлен в таблице 1.

**Таблица 1**

<b>Воздействие фотонного излучения (гамма, рентгеновского и др.)</b>	
Установки импульсного тормозного излучения: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ускоритель ЛИУ-10</li> <li>▪ ускоритель УИН-10М</li> <li>▪ ускоритель РИУС-5</li> <li>▪ ускоритель АРСА</li> </ul>	Установки статического гамма-излучения: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ гамма установка ГУ-200</li> <li>▪ гамма установка Гамма-Н</li> </ul>
<b>Воздействие электромагнитных факторов</b>	
Источники импульсного электромагнитного поля: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ установка УИН-ЭМИ</li> <li>▪ установка ЭМИ</li> </ul>	Генераторы одиночного импульса напряжений: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ генератор ИГМ 5.1</li> <li>▪ генератор ИГМ 05.1</li> </ul>
<b>Воздействие нейтронов</b>	
Импульсный ядерный реактор БАРС-4	
<b>Воздействие ТЗЧ</b>	
Источник импульсного сфокусированного лазерного излучения PULSYS-RAD	
<b>Воздействие климатико-механических факторов</b>	
Климатические камеры: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ камера термоудара КТЦ-0,025</li> <li>▪ климатермокамера КТК-800</li> <li>▪ камера тепла и холода КТК-0,04-02</li> <li>▪ камера тепла КТ-0,04-02</li> </ul>	Ударные стенды: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ стенд многократных ударов УСП-50</li> <li>▪ стенд многократных ударов УУЭ-2/200</li> <li>▪ стенд одиночных ударов AVEX SM 105-MP</li> </ul>



## **Основные испытательные установки АО «НИИП»**





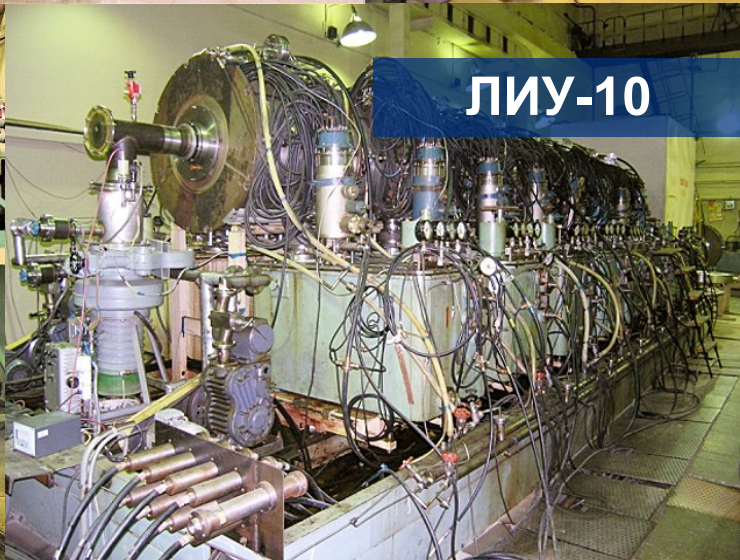
**УИИ-10**



**ЭМИ**



**БАРС-4**



**ЛИУ-10**



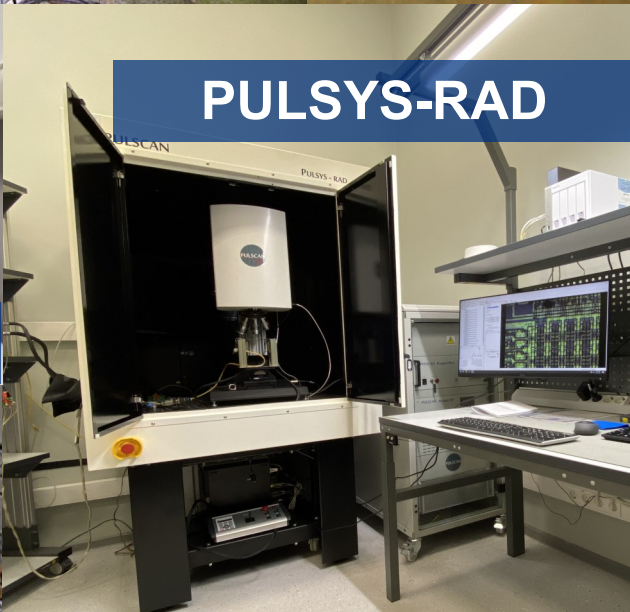
**АРСА**



**ГАММА-Н**



**Генераторы ИГМ**



**PULSYS-RAD**



**РИУС-5**



**ГУ-200**



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 энергетики. Наличие эксклюзивной базы диагностического оборудования позволяет проводить широкий спектр услуг по диагностике технического состояния и управлению сроком службы электрооборудования и кабелей на всех этапах жизненного цикла изделий. В АО «НИИП» накоплен опыт при выполнении работ на всех атомных станциях АО «Концерн Росэнергоатом», на зарубежных АЭС российских проектов, а также в рамках программ ТАСИС и МАГАТЭ. В рамках данного направления проводятся:

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

АО «НИИП» обладает лицензией Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на эксплуатацию блоков атомных станций в части выполнения работ и оказания услуг эксплуатирующей организации.

На базе АО «НИИП» создано единственное в РФ производство высокочистого монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки (БЗП) с последующим нейтронно-трансмутационным легированием. Монокристаллический кремний высокой чистоты, выращенный данным методом, широко применяется в производстве силовых полупроводниковых приборов и детекторов излучений. Цех по производству кремния укомплектован ростовыми установками TFZ-1435, FZ-1502 и FZ-30, которые позволяют производить от 2,5 до 4,5 тонны кремния в год в зависимости от диаметра выращиваемых монокристаллов. АО «НИИП» производит различные марки кремния, в том числе высокоомные, со следующими характеристиками:

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

В настоящее время в АО «НИИП» работают 319 сотрудников, включая 2-х докторов наук и 11 кандидатов наук.

Начиная с 1998 года АО «НИИП» проводит ежегодную Всероссийскую научно-техническую конференцию «Радиационная стойкость электронных систем». На конференции представляются доклады по наиболее актуальным направлениям физики радиационного воздействия на ЭКБ и РЭА, вопросы создания моделирующих установок, а также вопросы организационно-технического и методического обеспечения радиационных испытаний. В работе конференции принимают участие специалисты Госкорпорации 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, д.т.н., заместитель директора по науке АО «НИИП» с 1994 по 2019 гг. Мероприятие проводится как очно, так и в онлайн формате на платформе AtomSpace.

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», д.т.н., Константин Иванович Таперо. Сборник включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, информация об опубликованных статьях предоставляется в систему Российского индекса научного цитирования – РИНЦ. Издание распространяется посредством подписного каталога, индекс подписки 66715.

## III. Результаты деятельности по основным направлениям

### НАПРАВЛЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

В 2021 году в АО «НИИП» стартовал трехлетний проект ЕОТП ВНЕ-362 «Совершенствование технологии испытаний электронной компонентной базы в части определения показателей стойкости к воздействию ионизирующих излучений с применением импульсных источников лазерного излучения». В рамках данной НИОКР проводятся работы по двум отдельным тематикам:

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

Задачами НИОКР являются:

- разработка методов испытаний и определения стойкости ЭКБ по критерию максимального значения мощности дозы ИИ в части объемных импульсных ионизационных эффектов с учетом влияния формы (эффективной длительности) импульса на основе импульсного источника лазерного излучения с перестраиваемой длительностью импульса;
- разработка методов расчетно-экспериментального определения коэффициента маскирования при определении радиационной



стойкости ЭКБ с применением импульсных источников сфокусированного лазерного излучения в части локальных (одиночных) ионизационных эффектов;

- создание макетного образца испытательной установки с применением импульсного источника лазерного излучения с перестраиваемой длительностью для испытаний и определения стойкости ЭКБ в части объемных импульсных ионизационных эффектов.

В рамках данного проекта в 2021 году были достигнуты следующие результаты.

Разработана типовая методика испытаний и определения показателей стойкости ЭКБ по критерию максимального значения мощности дозы ИИ с учетом влияния формы импульса с применением импульсного источника лазерного излучения с перестраиваемой длительностью. Сформулированы и обоснованы требования к испытательной установке на основе импульсного источника лазерного излучения с перестраиваемой длительностью импульса. Поставка испытательной установки с источником лазерного излучения с перестраиваемой длительностью импульса ожидается до конца 2022 года, в основе установки предусмотрено использование лазерного источника разработки и производства РФ.

Разработана типовая методика проведения декапсуляции образцов ЭКБ. Разработана типовая методика испытаний ЭКБ с применением импульсных источников сфокусированного лазерного излучения в части одиночных радиационных эффектов.

Важным достижением в рамках направления испытаний электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры на радиационную стойкость в 2021 году стало получение патента РФ № 2751455 от 14.07.2021 на изобретение «Способ испытаний изделий электронной техники к воздействию тяжелых заряженных частиц космического пространства на основе источника сфокусированного импульсного жесткого фотонного излучения на эффекте обратного комптоновского рассеяния», авторы В.В. Емельянов, А.И. Озеров, А.С. Ватуев, Р.Г. Усеинов, И.А. Алексеев, правообладатель АО «НИИП». Формула изобретения приведена ниже:

«Способ для исследования радиационной стойкости ИЭТ к воздействию ТЗЧ, включающий последовательное точечное сканирование полупроводникового кристалла ИМС или ДПП импульсным жестким фотонным (рентгеновским) излучением с длительностью импульсов до 5 пс, энергией электронов 8-12 кэВ и энергией фотонов в импульсе до 500 пДж, что в пересчете в эквивалентные значения ЛПЭ моделирует воздействие ТЗЧ практически всего спектра галактических космических лучей и позволяет устранить большинство критических недостатков, присущих методам

моделирования с использованием ускорителей ионов, лазерных и синхротронных источников, выявление наиболее чувствительных к ОРЭ областей, отличающийся тем, что в качестве источника импульсного фотонного излучения используется компактный источник остросфокусированного жесткого фотонного (рентгеновского) излучения пикосекундной длительности на эффекте обратного комптоновского рассеяния, содержащий импульсный ускоритель электронов, источник импульсного лазерного излучения, камеру столкновения электронных и лазерных импульсов, фокусирующую рентгеновскую оптику для создания оптического фокуса размером до 10 мкм в плоскости приборного слоя полупроводникового кристалла ИМС или ДПП».

По данному изобретению в 2021 году подана заявка № 202100241 от 12.10.2021 на получение Евразийского патента.

Кроме того, в 2021 году подана заявка на патент РФ № 2021131570 от 27.10.2021 «Генератор электромагнитных импульсов», автор А.П. Метелёв.

8-9 июня 2021 года в городе Лыткарино проведена 24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Радиационная стойкость электронных систем». На конференции по тематике направления испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость сотрудниками АО «НИИП» были представлены 16 докладов:

- Два подхода к расчёту работы секции ЛИУ, А.П. Метелёв;
- Магнитная электризация диэлектриков и оценка её влияния на работу водяных формирующих линий, А.П. Метелёв;
- Повышение электрической прочности вакуумной изоляции на импульсных ускорителях электронов, А.А. Федоров, Д.И. Иващенко, А.И. Абрамов, В.В. Кочергин;
- Установка импульсного электромагнитного поля: возможности и перспективы, А.И. Абрамов, Д.И. Иващенко, В.В. Кочергин, Т.Б. Мавлюдов, И.В. Сазонова;
- Определение относительной эффективности импульсных моделирующих установок с различными амплитудно-временными характеристиками на основе теории линейных систем, А.А. Потей, А.С. Петров, В.В. Емельянов;
- Исследование влияния формы и длительности импульса моделирующих установок на отклик диодов с различным временем релаксации, М.В. Баньковский, М.В. Назаренко, В.М. Олухов, А.А. Потей, А.С. Петров;
- Особенности применения различных методов оценки ослабления падающего потока фотонов с энергией 50 кэВ, М.В. Назаренко;
- Влияние электрического режима при гамма-облучении на деградацию мощных МОП-транзисторов, И.А. Асанов, А.С. Петров, А.С. Ватуев;

- Опыт использования лазерной установки PULSYS-RAD для исследований и испытаний ЭКБ на стойкость к воздействию ТЗЧ, Ю.Ф. Жильникова, А.Д. Шорыгина, А.С. Ватуев, А.И. Озеров, В.В. Емельянов;
- Методика расчетно-экспериментальной оценки параметров чувствительности ЭКБ к эффектам одиночных событий при воздействии нейтронов по результатам экспериментов на ТЗЧ и ВЭП, Р.Г. Усеинов, А.С. Ватуев;
- Одиночные сбои в субмикронных интегральных схемах, индуцированные прямой ионизацией низкоэнергетичными протонами, Р.Г. Усеинов;
- Сравнение результатов расчета спектров протонов и электронов ЕРПЗ, СКЛ и ГКЛ и локальных дозовых нагрузок с помощью различных программных средств, Р.Г. Усеинов;
- Особенности измерения критериальных параметров СВЧ-усилителей при испытаниях на стойкость к воздействию статического ионизирующего излучения, А.Н. Махиня, А.А. Козлов, М.С. Петров, А.С. Ватуев;
- Методика регистрации тиристорного эффекта и обработки данных для исследования характеристик чувствительных к воздействию ТЗЧ паразитных тиристорных структур в интегральных микросхемах, Б.Н. Семенец;
- Исследование поля низкоэнергетического электронного излучения установки на базе стронций-иттриевого источника с целью создания эталона, В.В. Казаков, П.В. Москвич;
- Результаты измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения на борту космического аппарата, О.В. Мещуров, Р.Г. Усеинов, А.Д. Артемов, В.Н. Александров, Е.О. Першина.

Материалы докладов были опубликованы в сборнике тезисов докладов 24-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем».

## НАПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КАБЕЛЕЙ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Основные научные результаты по направлению технического диагностирования и управление ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергии в 2021 году были достигнуты в рамках выполнения НИОКР «Разработка методологии управления старением, в том числе нормативно-технической и методической документации, необходимой для разработки программ по управлению старением кабельной продукции конструкций, систем и компонентов (КСК) АЭС и проведение испытаний материалов представительных образцов КСК кабельной продукции, контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) и электротехнического оборудования (ЭТО) АЭС». Данная работа выполняется в рамках проекта «Разработка системы по управлению старением конструкций, систем и компонентов на всех этапах жизненного цикла энергоблоков АЭС в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ в части проведения испытаний материалов представительных образцов ЭТО, кабельной продукции, КИПиА АЭС и исследование механизмов их старения» по программе РТТН.

Целью работы является разработка системы управления старением КСК в части кабельной продукции, КИПиА и ЭТО на всех этапах жизненного цикла АЭС российского дизайна с РУ ВВЭР

В 2021 году в рамках НИОКР выполнялись следующие этапы:

1. Разработка проектов национальных стандартов по управлению физическим старением кабельной продукции, электротехнического оборудования и контрольно-измерительных приборов.

2. Проведение исследований и испытаний для исследования старения в объеме 2021 года в соответствии с разработанными и утвержденными программами и методиками.

В рамках выполнения работ были разработаны проекты национальных стандартов:

1) Проект ГОСТа в части ЭТО с учетом рекомендаций МАГАТЭ, МЭК, СИГРЭ. Он распространяется:

- на сухие силовые трансформаторы классов напряжения 6-10 кВ;
- оборудование комплектно-распределительных устройств (КРУ);
- низковольтное оборудование до 1 кВ (в том числе щиты постоянного тока).

2) Разработан проект ГОСТа в части кабельной продукции с учетом рекомендаций МАГАТЭ, МЭК, который распространяется на кабельные изделия контрольные низковольтные, силовые напряжением не более 10 кВ и оптические. В проекте стандарта определены требования к первичной аттестации кабельной продукции для АЭС и к аттестации и переаттестации кабельной продукции в рамках программ управления старением (ПУС) на всех этапах эксплуатации энергоблока АЭС.

3) Разработан проект ГОСТа в части КИПиА, в котором сформулирована методология управлением старением КИПиА, определен примерный перечень групп КИПиА, подлежащих управлению старением, определены процедуры управления старением.

Учитывая разнообразие электротехнических элементов, для проведения исследований и испытаний были разработаны и утверждены научным руководителем три программы для проведения исследований механизмов старения:

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

При подготовке образцов кабельной продукции для исследований термического и терморадационного старения изготавливали образцы полимерных кабельных материалов двух видов:

- образцы кабелей для АЭС длиной 20-30 см (следует отметить, что после определения физико-химических свойств из обследованных 38 типов образцов для дальнейших исследований были отобраны 14 марок кабелей);
- специальные образцы, изготовленные по кабельным рецептурам разработчиком кабелей – АО «ВНИИКП» по нашему заказу.

Для электрических измерений образцами являются сами кабели разной длины в зависимости от поставленных задач и методов измерения.

Контроль старения проводили как по измерению традиционного показателя относительного удлинения при разрыве (ОУР), так и по характерным полосам спектров инфракрасного поглощения методом ИК

Фурье спектроскопии, модуля упругости при сжатии, деформации в рамках термомеханического анализа (ТМА), температуры окислительной деструкции, определяемой методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Для иллюстрации методического подхода к проведению работ на рисунках 3-7 представлено используемое оборудование.



Рисунок 3. Универсальная деформационная машина



Рисунок 4. Термомеханический анализатор



Рисунок 5. Кабельный полимерный индентор

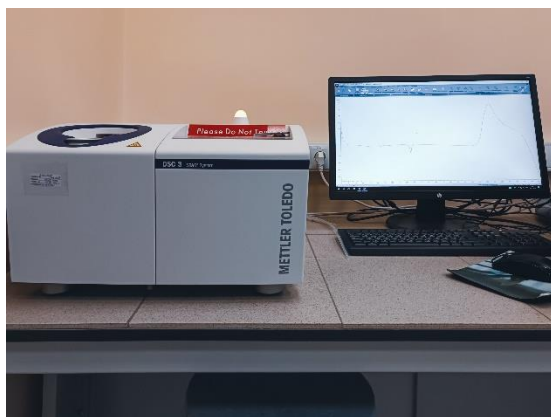


Рисунок 6. Дифференциальный сканирующий калориметр



Рисунок 7. ИК Фурье спектрометр с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения

В рамках НИОКР проведены исследования теплового старения оболочечной кабельной композиции на основе сополимера этилена и винилацетата двух типов: экспериментального совмещенного кабеля марки КСнг(А)-HF (4×16)+9×(2×0,5) и серийного совмещенного кабеля марки КСнг(А)-HF (4×4)+7×(2×0,5) при трех температурах (рис. 8-9). Установлено, наличие двух механизмов старения. Первый – это ингибированное окисление полимера. Скорость его протекания определяется количеством и типом антиоксиданта. Второй – это цепное окисление полимера. Скорость его определяется степенью кристалличности, наличием контролируемых и неконтролируемых примесей, технологией изготовления. Получена модель старения (рис. 10-11).



Рисунок 8. Срез образца кабеля марки КСнг(А)-HF (4×4)+7×(2×0,5)



Рисунок 9. Срез образца кабеля марки КСнг(А)-HF (4×16)+9×(2×0,5)



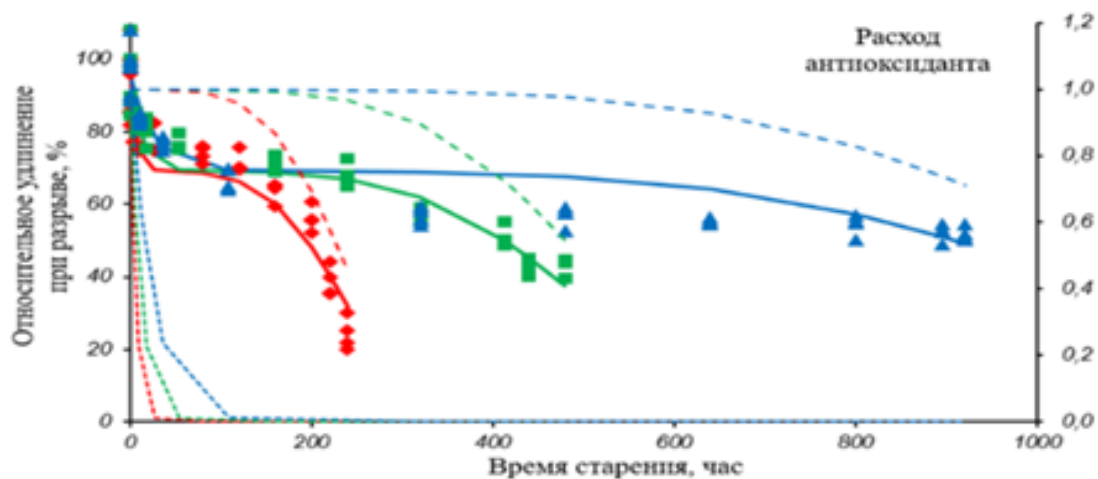


Рисунок 10. Изменение ОУР от времени ускоренного старения при различных температурах для кабеля КСнг(А)HF(4×4)+7× (2×0.5)

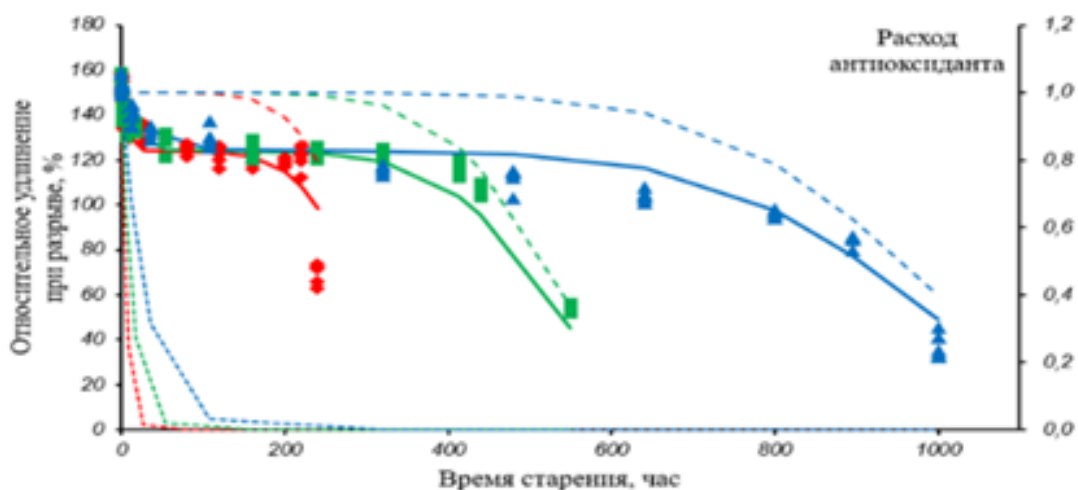


Рисунок 11. Изменение ОУР от времени ускоренного старения при различных температурах, для кабеля КСнг(А)-HF(4×16)+9× (2×0.5)

В рамках НИОКР были проведены исследования старения изоляции силовых кабелей с изоляцией из ПВХ пластиката с применением частотно-резонансной рефлектометрии (ЧРР) (рис. 12). В ускоренных термических испытаниях имитировали развитие дефекта изоляции, независимый контроль глубины старения осуществляли измерением модуля упругости

кабельным индентором и измерением остаточной концентрации пластификатора по характерным полосам спектра ИК-поглощения. Определена траектория старения ПВХ изоляции силовых кабелей по показателю DNORM, измеряемого ЧРР. Полученные экспериментальные данные будут являться основой для разработки метода неразрушающего контроля высокоомных дефектов изоляции в силовых кабелях, который позволит оценивать как степень деградации изоляции кабеля, так и место положения данного дефекта по длине кабельной линии (рис. 13).



Рисунок 12. ЧРР рефлектометр типа LIRA Portable



Рисунок 13. Модельный дефект – старение открытого участка изоляции силового кабеля

В рамках НИОКР были проведены исследования деградации элементов концевых муфт силовых кабелей номинальным напряжением 10 кВ из-за ускоренного старения, которое наблюдается непосредственно в эксплуатации. На образцах, представленных ЛенАЭС-2 выяснено методом ТМА, что партия термоусаживаемых трубок, поставленных в 2016 году были бракованными, что приводило к появлению свободного объема в конструкции муфты и соответственно к появлению ионизационных процессов, которые разрушали трубки (рис. 14).

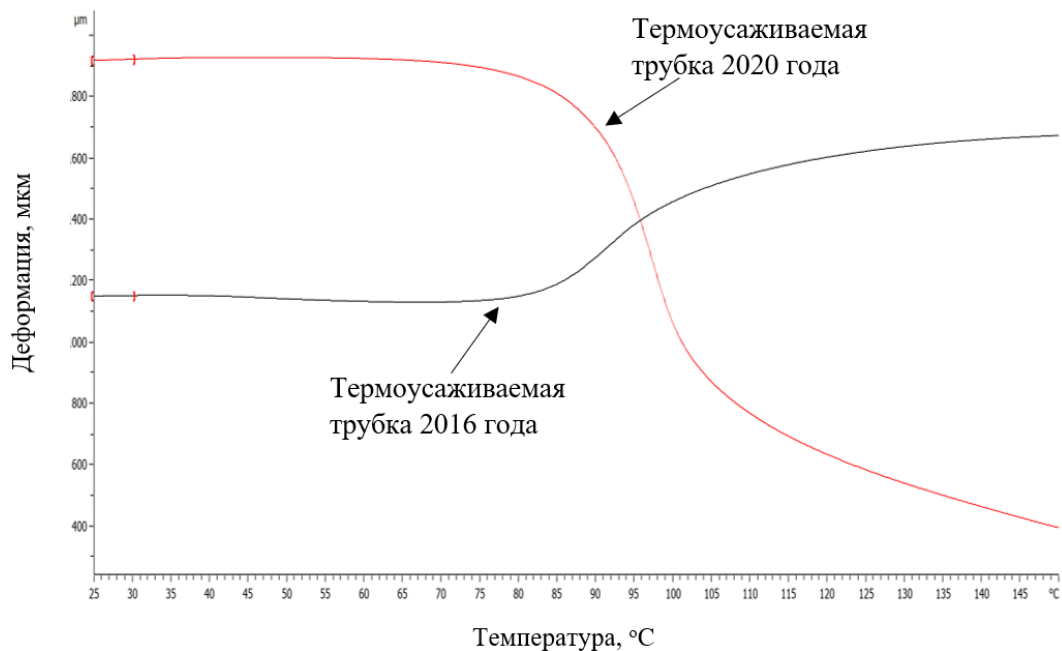


Рисунок 14. Термомеханические кривые материала термоусаживаемой трубки модельных образцов, усадка которых проведена по одной технологии

В рамках НИОКР проведен анализ экспериментальных данных по техническому диагностированию вращающихся машин в эксплуатации на атомных станциях для определения механизмов старения изоляции обмоток статора. Определены показатели и их значения для оценки состояния терморезистивной изоляции обмоток в эксплуатации. Критерии по рекомендуемым мероприятиям в зависимости от значений показателей старения приведены в таблице 2. Исследования будут продолжены уже на модельных образцах – электродвигателях малой мощности.

Таблица 2

Значение показателя AI(h)	Степень старения изоляции статора	Рекомендуемые мероприятия в рамках ТОиР статоров ВЭМ
$1,9 \leq AI(h) \leq 3,0$	Старение терморезистивной изоляции отсутствует	Обслуживание в рамках существующего ТОиР
$3,0 < AI(h) \leq 5,5$	Начальный уровень старения терморезистивной изоляции	Периодическая оценка состояния по показателю AI(h)
$5,5 < AI(h) \leq 7,3$	Высокий уровень старения терморезистивной изоляции	Периодическая оценка состояния по показателю AI(h)
$AI(h) > 7,3$	Состояние ухудшенное	Проведение комплексного диагностирования для уточнения ресурса ВЭМ
Менее 1,6	Наличие дефектов на поверхности обмотки, либо наличие ее сильного загрязнения, либо механические повреждения изоляции выводов обмоток	Дополнительные обследования в рамках ТОиР для установления и устранения причин несоответствий

Начаты исследования по долговременному термическому старению образцов ЭТО и их электроизоляционных и конструкционных материалов.

Таким образом, в рамках НИОКР получены новые экспериментальные данные по старению силовых кабелей в эксплуатации, термическому старению широко распространенной на сегодняшний день кабельной полимерной композиции на основе сополимера этилена и винилацетата, терморезистивной изоляции обмоток статоров вращающихся машин. Эти данные показывают, что старение полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых в качестве электроизоляционных и конструкционных материалов электротехнических КСК, зависит от многих факторов, таких как: интенсивность внешних воздействующих факторов, наличие эффектов синергизма, состав рецептур ПКМ, вид стабилизаторов и антиоксидантов, технология изготовления.

Важным аспектом деятельности в рамках направления технического диагностирования и управления ресурсом электротехнического оборудования и кабелей на объектах использования атомной энергетики является разработка руководящих методических документов. В 2021 году были разработаны Методические рекомендации «Техническое диагностирование силовых и контрольных кабелей на объектах использования атомной энергии», которые были поставлены на учет в АО «НИИП» как РИД и используются при проведении работ на АЭС, также был разработан проект методических указаний по оценке морального старения электротехнических КСК, которое также необходимо учитывать при аттестации состояния работающего оборудования на АЭС. Разработаны и введены в действие СТО 0864450-79-2021 «Техническое диагностирование изоляции обмоток статоров вращающихся машин и оценка ресурса асинхронных электродвигателей» и СТО 08624450-78-2021 «Техническое диагностирование и оценка ресурса силовых трансформаторов».

## НАПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ БЕСТИГЕЛЬНОЙ ЗОННОЙ ПЛАВКИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

В 2021 году была продолжена реализация инвестиционного проекта «Разработка технологии и организация производства слитков ядерно-легированного монокристаллического кремния диаметром до 150 мм». В рамках этапа проекта 2021 года методом бестигельной зонной плавки были изготовлены слитки монокристаллического бездислокационного кремния диаметром 125 мм. Слитки выращены на установке FZ-30 в атмосфере аргона. При доводке в марку монокристаллического кремния (заготовки) для проведения нейтронно-трансмутационного легирования фосфором в канале ядерного реактора монокристаллы показали наличие необходимых технологических параметров, позволяющих изготавливать качественный продукт в соответствии с требованиями производителей силовых полупроводниковых приборов и устройств. Реализация данного этапа проекта на кремниевом производстве АО «НИИП» является основой для освоения технологии производства слитков монокристаллического кремния выращенных методом бестигельной зонной плавки с диаметрами 150 мм.

Основные технические параметры полученных монокристаллов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Параметр	Значение
Марка кремния монокристаллического	ЗКОФ
Тип проводимости	<i>n</i> -тип
Ориентация, градус	$\langle 111 \rangle \pm 2^0$
Диаметр, мм	от 123 до 128
Допуск на диаметр, мм	$\pm 1$
Шероховатость боковой поверхности Ra, не более, мкм	0,8
Угол отклонения плоскости торцевого среза от образующей слитка (скос), не более, градус	0,5
Круговая фаска по торцам слитка шириной по радиусу, не более, мм	1,5
Удельное электрическое сопротивление, Ом·см	1000
Время жизни неосновных носителей заряда, не менее, мкс	500
Концентрация кислорода, не более, см <sup>-3</sup>	$1 \cdot 10^{16}$
Концентрация углерода, не более, см <sup>-3</sup>	$2 \cdot 10^{16}$
Плотность дислокаций, не более, см <sup>-2</sup>	10
Свирл-дефекты	Отсутствие (селективное травление)
Длина слитков, мм	200-300



## НАПРАВЛЕНИЕ РАЗРАБОТКИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В АО «НИИП» 2021 год ознаменовался становлением нового направления деятельности – разработка микроэлектронных чувствительных элементов и детекторов ионизирующих излучений. В рамках данного направления для реализации были отобраны первые два проекта: «Разработка многоцелевых детекторов для контроля дозы ионизирующего излучения на основе микроэлектронных структур типа MNOS и SONOS» и «Разработка полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений».

Проект «Разработка многоцелевых детекторов для контроля дозы ионизирующего излучения на основе микроэлектронных структур типа MNOS и SONOS» направлен на разработку детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе метал-диэлектрик-полупроводниковых транзисторов (МДП-транзисторов) с затворной системой типа MNOS и/или SONOS, которая должна обеспечить радиационную чувствительность, оптимизированную для различных применений в составе систем:

- контроля дозовых нагрузок на РЭА в смешанных полях электронного, протонного и фотонного излучений на борту космических аппаратов (КА);
- контроля дозы, полученной пациентом во время сеансов «лучевой» терапии («in vivo» дозиметрия);
- контроля дозовых нагрузок на РЭА и ЭТО в смешанных полях фотонного и нейтронного излучений при возникновении проектных аварий на объектах использования атомной энергии (ОИАИ);
- оценки доз, полученных персоналом в результате аварийных ситуаций при работе с источниками ионизирующих излучений, если предполагаемые уровни облучения существенно превышают уровни, регламентированные нормами радиационных испытаний («аварийная» дозиметрия);
- измерения уровней фотонного, электронного и протонного излучения при проведении радиационных испытаний ЭКБ, РЭА и ЭТО.

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

Проект «Разработка полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений» направлен на разработку монолитного матричного чувствительного элемента для регистрации фотонного излучения с энергией до 20 кэВ с прямым преобразованием ионизационных потерь и счетным режимом регистрации для использования в квантовых координатных детекторах ионизирующих излучений широкого спектра применений: ядерное приборостроение и ядерная медицина (включая аппаратуру для медико-биологических исследований), научные исследования (фундаментальные, включая космические миссии, и прикладные), а также промышленности (в частности в аппаратуре для рентген-флуоресцентного анализа).

По каждому из проектов были подготовлены и направлены в установленном порядке заявки для выполнения проектов в рамках ЕОТП.

## IV. Прочие научно-технические достижения

### Статистические показатели по науке

Перечень публикаций сотрудников АО «НИИП» в научных изданиях в 2021 году приведен в таблице 4.

Таблица 4

№	Название статьи, авторы	Издание
1	Метелёв А.П. Расчёт физического процесса в ускорительной секции линейного индукционного ускорителя	Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2021. Вып. 1. С. 38-40.
2	Мещуров О.В., Усеинов Р.Г., Артемов А.Д. Результаты измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения на борту космического аппарата	Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2021. Вып. 2. С. 34-40.

3	Рябцева М.В., Петров А.С., Воеводкин Г.С., Таперо К.И., Вагапова Н.Т., Баньковский М.В. Исследование воздействия электронов, нейтронов и гамма-квантов на выходные характеристики трёхкаскадных фотоэлектрических преобразователей на основе AlInBV/Ge	Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2021. Вып. 2. С. 16-22.
4	Воеводкин Г.С., Рябцева М.В., Бадурин И.В., Вагапова Н.Т., Логинова Е.С., Таперо К.И., Петров А.С. Адаптированная методика оценки радиационной деградации фотоэлектрических преобразователей концентрированного солнечного излучения и их каскадов на базе InGaP, InGaAs и Ge	Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2021. Вып. 3. С. 5-10.
5	Таперо К.И. Проблемные вопросы оценки стойкости электронной компонентной базы к воздействию поглощенной дозы ионизирующего излучения космического пространства	Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2021. Вып. 4. С. 5-14.
6	Кононенко А.И., Циканин А.Г. Управление старением электрических кабелей на атомных станциях	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 32-33.
7	Кононенко А.И., Циканин А.Г. Устойчивость кабелей к проектным авариям с потерей теплоносителя на энергоблоках с РБМК	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 34.
8	Метелёв А.П. Два подхода к расчёту работы секции ЛИУ	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 35-37.
9	Метелёв А.П. Магнитная электризация диэлектриков и оценка её	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов.

	влияния на работу водяных формирующих линий	Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 38-39.
10	Федоров А.А., Иващенко Д.И., Абрамов А.И., Кочергин В.В. Повышение электрической прочности вакуумной изоляции на импульсных ускорителях электронов	24-я Всероссийская научно- техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 40-42.
11	Абрамов А.И., Иващенко Д.И., Кочергин В.В., Мавлюдов Т.Б., Сазонова И.В. Установка импульсного электромагнитного поля: возможности и перспективы	24-я Всероссийская научно- техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 43-44.
12	Потей А.А., Петров А.С., Емельянов В.В. Определение относительной эффективности импульсных моделирующих установок с различными амплитудно- временными характеристиками на основе теории линейных систем	24-я Всероссийская научно- техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 45-46.
13	Баньковский М.В., Назаренко М.В., Олухов В.М., Потей А.А., Петров А.С. Исследование влияния формы и длительности импульса моделирующих установок на отклик диодов с различным временем релаксации	24-я Всероссийская научно- техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 47-48.
14	Назаренко М.В. Особенности применения различных методов оценки ослабления падающего потока фотонов с энергией 50 кэВ	24-я Всероссийская научно- техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 49-50.
15	Асанов И.А., Петров А.С., Ватуев А.С. Влияние электрического режима при гамма-облучении на деградацию мощных МОП- транзисторов	24-я Всероссийская научно- техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 51-52.
16	Жильникова Ю.Ф., Шорыгина А.Д., Ватуев А.С., Озеров А.И., Емельянов В.В.	24-я Всероссийская научно- техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов.

	Опыт использования лазерной установки PULSYS-RAD для исследований и испытаний ЭКБ на стойкость к воздействию ТЗЧ	Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 53-54.
17	Усеинов Р.Г., Ватуев А.С. Методика расчетно-экспериментальной оценки параметров чувствительности ЭКБ к эффектам одиночных событий при воздействии нейтронов по результатам экспериментов на ТЗЧ и ВЭП	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 55-56.
18	Усеинов Р.Г. Одиночные сбои в субмикронных интегральных схемах, индуцированные прямой ионизацией низкоэнергетичными протонами	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 57-58.
19	Усеинов Р.Г. Сравнение результатов расчета спектров протонов и электронов ЕРПЗ, СКЛ и ГКЛ и локальных дозовых нагрузок с помощью различных программных средств	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 59-60.
20	Махиня А.Н., Козлов А.А., Петров М.С., Ватуев А.С. Особенности измерения критериальных параметров СВЧ-усилителей при испытаниях на стойкость к воздействию статического ионизирующего излучения	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 61-62.
21	Семенец Б.Н. Методика регистрации тиристорного эффекта и обработки данных для исследования характеристик чувствительных к воздействию ТЗЧ паразитных тиристорных структур в интегральных микросхемах	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 63-64.
22	Емельянов В.В., Сиделев А.В., Нестеренко А.Е. Повышение чувствительности детектора на основе МНОП-	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 65.

	структуры с помощью оптимизации выхода заряда в SiO <sub>2</sub>	
23	Казаков В.В., Москвич П.В. Исследование поля низкоэнергетического электронного излучения установки на базе стронций-иттриевого источника с целью создания эталона	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 66-68.
24	Мещуров О.В., Усеинов Р.Г., Артемов А.Д., Александров В.Н., Першина Е.О. Результаты измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения на борту космического аппарата	24-я Всероссийская научно-техническая конференция «Стойкость-2021»: сб. тезисов. Лыткарино, 2021, 8-9 июня. С. 69-70.
25	Белюсов С.А. Technical diagnostics and management of cable aging at NPP	Техническое совещание «IAEA Technical Meeting on Managing the Ageing and Obsolescence of Nuclear Instrumentation and Control Systems and Components through Modernization» МАГАТЭ.
26	Ryabtseva M.V., Petrov A.S., Voevodkin G.S., Tapero K.I., Vagapova N.T., Bankovsky M.V. Degradation of AlInBV/Ge triple junction solar cells irradiated by gamma-rays, electrons and neutrons	Microelectronics Reliability. 2021. Vol. 125. P. 114350. DOI:10.1016/j.microrel.2021.114350.

Перечень созданных в АО «НИИП» в 2021-году результатов интеллектуальной деятельности (РИД) приведен в таблице 5.

**Таблица 5**

<b>№</b>	<b>Название РИД, авторы</b>	<b>Правовая форма</b>
1	Емельянов В.В., Озеров А.И., Ватуев А.С., Усеинов Р.Г., Алексеев И.А. Способ испытаний изделий электронной техники к воздействию тяжелых заряженных частиц космического пространства на основе источника сфокусированного импульсного жесткого фотонного излучения на эффекте обратного комптоновского рассеяния	Патент на изобретение РФ № 2751455 от 14.07.2021 г. (Правообладатель АО «НИИП»)
2	Метелёв А.П. Генератор электромагнитных импульсов	Заявка на патент РФ на изобретение № 2021131570 от 27.10.2021 г.
3	Емельянов В.В., Озеров А.И., Ватуев А.С., Усеинов Р.Г., Алексеев И.А. Способ испытаний изделий электронной техники к воздействию тяжелых заряженных частиц космического пространства на основе источника сфокусированного импульсного жесткого фотонного излучения на эффекте обратного комптоновского рассеяния	Евразийская заявка на патент № 202100241 от 12.10.2021 г.
4	Кононенко А.И., Циканин А.Г. Разработка методологии управления старением, в том числе нормативно-технической и методической документации, необходимой для разработки программ по управлению старением кабельной продукции КСК АЭС и проведение испытаний материалов представительных образцов КСК кабельной продукции, КИПиА и ЭТО АЭС	Произведение науки (Правообладатель РФ в лице ГК «Росатом») Решение заказчика от 13.07.2021 г. № 203-990/3465
5	Ватуев А.С., Емельянов В.В., Бесецкий А.В., Козлов А.А., Шорыгина А.Д., Петров А.С., Семенец Б.Н. Отчет о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе «Совершенствование технологии испытаний электронной	Произведение науки (Правообладатель ЧУ «Наука и инновации») Решение



	компонентной базы в части определения показателей стойкости к воздействию ионизирующих излучений с применением импульсных источников лазерного излучения» по теме «Патентные и аналитические исследования; разработка программ и методик испытаний, предварительный анализ и подготовка образцов ЭКБ для проведения испытаний» (промежуточный, этап 1)	заказчика от 29.11.2021 г. № 203-990/5866
6	Шорыгина А.Д., Козлов А.А., Ватуев А.С. Типовая методика проведения декапсуляции образцов электронной компонентной базы	Секрет производства (Правообладатель ЧУ «Наука и инновации») Приказ от 09.12.2021 г. № 203/387-П
7	Бесецкий А.В., Ватуев А.С. Типовая методика испытаний электронной компонентной базы с применением сфокусированных импульсных источников лазерного излучения в части одиночных радиационных эффектов	Секрет производства (Правообладатель ЧУ «Наука и инновации») Приказ от 09.12.2021 г. № 203/388-П
8	Петров А.С. Типовая методика испытаний и определения показателей стойкости ЭКБ по критерию максимального значения мощности дозы ИИ с учетом влияния формы (эффективной длительности) импульса на установке с применением импульсного источника лазерного излучения с перестраиваемой длительностью	Секрет производства (Правообладатель ЧУ «Наука и инновации») Приказ от 09.12.2021 г. № 203/389-П
9	Кононенко А.И., Циканин А.Г., Хохряков А.В., Любимова М.П., Болотина Д.И., Шикиль Г.Н., Белоусов С.В., Чернышев М.В. Методические рекомендации «Техническое диагностирование силовых и контрольных кабелей на объектах использования атомной энергии»	Секрет производства (Правообладатель АО «НИИП») Приказ от 11.11.2021 г. № 203/336-П

## Итоги издательской деятельности

В 2021 году были выпущены четыре выпуска научно-технического сборника «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру» (ISSN 1997-2830, издатель АО «НИИП»), в которых было опубликовано 23 статьи.

В рамках проведения 24-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 103 работы. С 2021 года данный сборник индексируется в системе Российского индекса научного цитирования – РИНЦ. Сборник распространяется среди участников конференции.

## V. Научно-технические мероприятия

В соответствии с единым планом проведения научных и научно-технических мероприятий организациями Госкорпорации «Росатом» на 2021 год АО «НИИП» провело 24-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию «Радиационная стойкость электронных систем» - «Стойкость-2021» (8-9 июня 2021 года, город Лыткарино) и 15-ю Научную школу-семинар «Методы оценки и обеспечения радиационной стойкости изделий электронной техники» им. В.Н. Улимова – «Радиационная стойкость-2021» (18-20 мая 2021 года, онлайн формат).

В работе 24-й Всероссийской научно-технической конференции «Радиационная стойкость электронных систем» приняли участие 264 специалиста из 50 организаций Госкорпораций Росатома и Роскосмоса, Минобороны России, Минпромторга России, Российской академии наук, высших учебных заведений (рис. 15). За два дня конференции было представлено 23 устных и 102 стендовых доклада по следующим тематикам:

- 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.



Рисунок 15. Участники конференции «Стойкость-2021»

В рамках проведения 15-й научной школы-семинара «Методы оценки и обеспечения радиационной стойкости изделий электронной техники» им. В.Н. Улимова были прочитаны 12 лекций по наиболее актуальным направлениям физики радиационного воздействия на электронную компонентную базу и радиоэлектронную аппаратуру, включая:

- радиационные эффекты в материалах, ЭКБ и РЭА;
- моделирование воздействия ионизирующих излучений на материалы, ЭКБ и РЭА;
- физические основы и методы радиационных испытаний ЭКБ и РЭА;
- проектирование радиационно-стойкой ЭКБ.

В работе мероприятия приняли участие более 50 участников из 23 организаций Росатома, Роскосмоса и высших учебных заведений. С лекциями выступили сотрудники АО «НИИП», Филиала АО «ОРКК» – «НИИ КП», ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», НИЯУ МИФИ и АО «ЭНПО «СПЭЛС».

## VI. Заключение

В настоящем отчете представлены результаты выполненных предприятием в 2021 году научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ. Наиболее значимые результаты были достигнуты в ходе выполнения проекта ЕОТП ВНЕ-362 «Совершенствование технологии испытаний электронной компонентной базы в части определения показателей стойкости к воздействию ионизирующих излучений с применением импульсных источников лазерного излучения» и выполнения НИОКР «Разработка методологии управления старением, в том числе нормативно-технической и методической документации, необходимой для разработки программ по управлению старением КСК АЭС и проведение испытаний материалов представительных образцов КСК кабельной продукции, КИПиА и ЭТО АЭС», являющейся частью программы РТТН. Оба проекта стартовали в 2021 году со сроками завершения в 2023 и 2024 годах, соответственно.

Основные результаты работ, полученные по проекту ЕОТП ВНЕ-362 в 2021 году, заключаются в следующем:

- разработана типовая методика испытаний и определения показателей стойкости ЭКБ по критерию максимального значения мощности дозы ИИ с учетом влияния формы импульса с применением импульсного источника лазерного излучения с перестраиваемой длительностью;
- сформулированы и обоснованы требования к испытательной установке на основе импульсного источника лазерного излучения с перестраиваемой длительностью импульса;
- разработана типовая методика испытаний ЭКБ с применением импульсных источников сфокусированного лазерного излучения в части одиночных радиационных эффектов.

Все достигнутые результаты будут использованы в АО «НИИП» для выполнения последующих этапов проекта ВНЕ-362, а затем в рамках работ по направлению испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость для

обеспечения требований нового комплекса государственных стандартов «Климат-8».

В рамках НИОКР по программе РТТН были получены новые экспериментальные данные по старению силовых кабелей в эксплуатации, термическому старению широко распространенной на сегодняшний день кабельной полимерной композиции на основе сополимера этилена и винилацетата, терморезистивной изоляции обмоток статоров вращающихся машин. Эти данные показали, что старение полимерных композиционных материалов, используемых в качестве электроизоляционных и конструкционных материалов электротехнических КСК, зависит от многих факторов, таких как: интенсивность ВВФ, наличие эффектов синергизма, состав рецептур ПКМ, вид стабилизаторов и антиоксидантов, технология изготовления.

Отдельно следует отметить, что в рамках выполнения работ по программе РТТН были разработаны проекты национальных стандартов:

- проект ГОСТа в части электротехнического оборудования с учетом рекомендаций МАГАТЭ, МЭК, СИГРЭ, который распространяется на сухие силовые трансформаторы классов напряжения 6-10 кВ, оборудование комплектно-распределительных устройств; низковольтное оборудование до 1 кВ (в том числе щиты постоянного тока);
- проект ГОСТа в части кабельной продукции с учетом рекомендаций МАГАТЭ, МЭК, который распространяется на кабельные изделия контрольные низковольтные, силовые напряжением не более 10 кВ и оптические, и определяет требования к первичной аттестации кабельной продукции для АЭС и к аттестации и переаттестации кабельной продукции в рамках программ управления старением на всех этапах эксплуатации энергоблока АЭС;
- проект ГОСТа в части КИПиА, в котором сформулирована методология управления старением КИПиА, определен примерный перечень групп КИПиА, подлежащих управлению старением, определены процедуры управления старением.

В 2021 году была продолжена реализация инвестиционного проекта «Разработка технологии и организация производства слитков ядерно-легированного монокристаллического кремния диаметром до 150 мм». В рамках этапа проекта 2021 года методом бестигельной зонной плавки были изготовлены слитки монокристаллического бездислокационного кремния диаметром 125 мм, что является неотъемлемым этапом освоения технологии производства слитков кремния диаметром 150 мм.

В АО «НИИП» 2021 год ознаменовался становлением нового направления деятельности – разработка микроэлектронных чувствительных элементов и детекторов ионизирующих излучений. В рамках данного

направления для реализации были отобраны первые два проекта: «Разработка многоцелевых детекторов для контроля дозы ионизирующего излучения на основе микроэлектронных структур типа MNOS и SONOS» и «Разработка полнофункционального монолитного матричного чувствительного элемента для квантовых координатных детекторов ионизирующих излучений». Реализация данных проектов планируется в рамках программы ЕОТП в 2022-2023 годах.

В 2021 году АО «НИИП» успешно провело 24-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию «Радиационная стойкость электронных систем» - «Стойкость-2021» (8-9 июня 2021 года, город Лыткарино) и 15-ю научную школу-семинар «Методы оценки и обеспечения радиационной стойкости изделий электронной техники» им. В.Н. Улимова – «Радиационная стойкость-2021» (18-20 мая 2021 года, онлайн формат).

В 2021 году удалось реализовать научную программу и программу развития предприятия в полном объеме и с надлежащим качеством.