

Институт монокристаллов АН Украины

На правах рукописи

Гринев Борис Викторович

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ ЖЕСТКИХ
УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

(01.04.07. — физика твердого тела)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Харьков
1994

Диссертация выполнена в Институте монокристаллов АН Украины

Официальные оппоненты:

- член-корреспондент АН Украины, профессор Залюбовский И.И.
- доктор физико-математических наук Рыжиков В.Д.
- доктор технических наук Хаматдинов Р.Т.

Ведущая организация:

Институт ядерных исследований АН Украины

Защита состоится "16" февраля 1994 г. в 10⁰⁰ часов на заседании специализированного совета Д.02.11.01 в Институте монокристаллов АН Украины (310001, Харьков-1, пр.Ленина, 60)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института монокристаллов АН Украины

Автореферат разослан "14" января 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
канд. техн. наук

Атрощенко

Атрощенко Л.В.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00778982 (+)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Диссертация посвящена созданию технологии и получению на ее основе сцинтилляционных детекторов и блоков детектирования, эксплуатирующихся в жестких условиях.

Экспериментальные возможности, возникающие благодаря применению сцинтилляционных методов детектирования ионизирующих излучений, весьма разнообразны и способствовали становлению многих отраслей науки и техники. Каждая из них предъявляла к детекторам специфические требования. Но, несомненно, наиболее жесткие требования связаны с геофизическими применениями. В связи с развитием нефтегазового комплекса, переходом на поиск углеводородных полезных ископаемых с больших глубин, а также созданием систем контроля на атомных электростанциях важными являются проблемы создания детектирующих устройств, работоспособных при жестких термомеханических воздействиях.

В последние годы возникла необходимость получения детектирующих устройств, работоспособных в жестких условиях в спектрометрическом режиме. Это открывает новые возможности в каротаже, но одновременно связано с разработкой принципиально нового поколения детектирующих устройств.

Трудности на пути решения данной проблемы связаны как с физическими, так и с техническими ограничениями.

Повышение чувствительности и эффективности регистрации гамма-излучения зачастую осложняется ограничением по диаметру детектора и может решаться только путем увеличения высоты сцинтиллятора и поиска сцинтилляционных материалов с более высоким эффективным атомным номером. Применение с этой целью известных сцинтилляторов ($A^{IV}B^{VI}$, сложные оксиды и др.) в настоящее время проблематично в связи с трудностями в получении кристаллов требуемых размеров, с низким световым выходом, плохой прозрачностью к собственному излучению, низкой термостойкостью.

Наиболее эффективными детекторами до настоящего времени являются изделия на основе ЩГК с различными активирующими добавками, но одна из основных проблем применения этих материалов заключается в том, что они гигроскопичны. Взаимодействие с влагой приводит к полной негодности сцинтиллятора. Сцинтилля-

тору практически всегда требуется упаковка. А так как области применения этих изделий очень широки, то влияние дестабилизирующих факторов на сроки их работоспособности являются не менее важными показателями, чем сцинтилляционные характеристики.

Попытки создания сцинтилляционных детекторов для жестких условий эксплуатации весьма многочисленны и разнообразны. Перспективен путь повышения эффективности регистрации в пике полного поглощения за счет улучшения спектрометрических характеристик, что связано как со свойствами сцинтиллятора, так и с характеристиками оптической системы сцинтилляционного блока: обработка поверхностей сцинтиллятора, наружный отражатель, оптическое сочленение с ФЭУ, подбор пар сцинтиллятор-ФЭУ, в том числе с учетом согласования их угловых характеристик. Создание эффективной системы светосбора позволяет значительно улучшить характеристики и, таким образом, повысить точность измерений.

Вместе с тем многообразие идей и подходов к решению проблемы давало локальные результаты, но не позволяло решить проблему в целом. Подобное состояние дел привело к выводу о необходимости разработки общих подходов к проблеме создания детекторов для жестких условий эксплуатации, что послужило главным побудительным мотивом для постановки настоящей работы.

Целью диссертации являлась разработка системного подхода к проблеме создания сцинтилляционных детекторов (для жестких условий эксплуатации) нового поколения, включающая технологию и собственно производство подобных устройств.

В ходе реализации поставленной задачи в работе были сформулированы принципы и результаты, обуславливающие научную новизну исследования. Они заключаются в следующем:

— Сформулированы принципы разбиения задачи на минимальное количество взаимосвязанных составляющих, определены основные инженерно-физические критерии и ограничения для каждого элемента в частности и всего технического решения в целом.

— Систематизированы показатели надежности для изделий сцинтилляционной техники, эксплуатирующихся в жестких условиях. Найдены материалы, применение которых при изготовлении детекторов обеспечивает достаточную сохраняемость при эксплуатации.

— Показано, что существенным фактором, влияющим на световыравнивание в скинтилляторе с линейным отношением геометрических размеров высоты много больше диаметра, является соотношение диффузно и зеркально отражающих образующих поверхностей. Найдены оптимальные соотношения как для моно-, так и для поликристаллов.

— Изучено взаимодействие в герметичном объеме составов на основе кремнийорганических, эпоксидно-кремнийорганических и эпоксидно-модифицированных смол со щелочногалоидными скинтилляторами при воздействии температур от -50 до 250°C . Предложены оптимальные составы клеев, не ухудшающие свойств скинтиллятора.

— Систематизировано применение кремнийорганических соединений в скинтилляционной технике.

— Разработаны безводные технологии обработки водорастворимых кристаллов. Определены температурные интервалы максимальной термодесорбции летучих соединений и воды из скинтиллятора, конструкционных и оптических материалов, применяемых при изготовлении детекторов.

— Предложен ряд конструкционных приемов, позволяющих полностью избавиться от разрушений детекторов из-за разницы температурных коэффициентов линейного расширения оболочки и кристалла при одновременном воздействии климатических и механических факторов.

— Предложены принципиально новые возможности создания напряженной конструкции скинтилляционного детектора путем механического формирования светоотражающих оболочек.

— Разработана технология, включающая прогрев и вакуумирование на различных стадиях сборки скинтилляционных детекторов, предназначенных для жестких условий эксплуатации.

— На основе систематизации и накопленного опыта сформулированы основные принципы термостабилизации и термостатирования, позволяющие создать принципиально новые изделия, превосходящие мировые аналоги по ряду характеристик.

В результате проведенных исследований создана принципиально новая технология изготовления скинтилляционных детекторов, предназначенных для эксплуатации в условиях жестких термомеханических воздействий. Решающим обстоятельством, позволяющим существенно увеличить работоспособность изделий, явилась воз-

возможность рассмотрения детектора как многоэлементного устройства и поэтапного улучшения каждого из элементов детектора. Суммирование этих улучшенных элементов позволяет получить изделие, обладающее принципиально новыми потребительскими свойствами. При этом в процессе решения задач на каждом из этапов исследовались новые свойства и явления.

Практическая значимость работы состоит в том, что в результате реализации поставленных задач удалось добиться "аккумуляционного эффекта", когда совокупность отдельных технических решений, результатов исследований и расчетов привела к качественно новому результату — созданию принципов разработки, изготовлению и внедрению нового поколения сцинтилляционных детекторов для жестких условий эксплуатации, работоспособных в спектрометрическом режиме при следующих значениях совокупности механических и климатических факторов:

— вибрация:

частота Гц	10-300
максимальное ускорение, m/c^2	300

— удары:

число ударов в минуту	10-50
максимальное ускорение, m/c^2	150
длительность удара, мс	6-12

— температура, °C	-50+225
-------------------	---------

— относительная влажность, при 30°C, %	95
--	----

Созданы как принципиально новая технология изготовления сцинтилляционных детекторов, так и сами детекторы, работоспособные при указанных нагрузках.

Добиться принципиально новых результатов удалось путем системного подхода к рассмотрению сцинтилляционного детектора как многоэлементного устройства. Исследуя влияние каждого из элементов на систему (детектор) и его поведение в ней, трансформируя элемент необходимым для системы образом, в том числе и изменяя связи элементов, на конечном этапе путем суммирования изменений удалось получить изделия, обладающие принципиально новыми потребительскими свойствами.

Результаты диссертации положены в основу как серийно выпускаемых блоков детектирования СБН.04, СБН.05, СБН.10, так и успешно прошедших в настоящее время испытания детекторов СДН.132, которые осваиваются в производстве.

Разработанные в результате работы и предложенные новые для сцинтилляционной техники конструкционные и оптические материалы зачастую имеют универсальный характер и пригодны для использования не только в изделиях, эксплуатирующихся в жестких условиях.

Результаты диссертации позволили создать новые безводные технологии обработки водорастворимых кристаллов.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Технология, позволившая принципиально повысить надежность изделий и существенно расширить интервал рабочих температур. Технологическая цепочка, представляющая замкнутый цикл.

2. Безводные технологии обработки водорастворимых кристаллов. Оптимальные составы для создания элементов оптической связи между сцинтиллятором и приемником фотоизлучения, амортизирующих элементов, светоотражающих оболочек, не ухудшающих характеристики кристаллов в процессе эксплуатации.

3. Методы конструирования и конструкции детекторов, позволившие полностью избавиться от разрушений из-за разницы в температурных коэффициентах линейного расширения кристаллов и применяемых в сцинтилляционной технике для создания оболочек материалов. Способы создания напряженных конструкций детекторов.

4. Основные принципы термостабилизации и термостатирования, позволившие создать новое поколение термостатированных блоков детектирования, работоспособных до температур 280°C в спектретрическом режиме.

Апробация работы. Результаты работы были представлены, докладывались и обсуждались на: 1993 IEEE Nuclear Science symposium and exposition (November 2-5, 1993, San-Fransisco), ECASIA-93 5-th Conference on application of surface and interface analysis (Catania-Sicily/Italy, 4-8 October), 4-й конференции Запад-Восток по материалам и процессам (17-21 октября 1993 г., г.С.-Петербург), Межгосударственной конференции «Сцинтилляторы-93» (27-30 октября, 1993 года, г.Харьков), 8-ой Всесоюзной конференции по росту кристаллов (2-8 февраля 1992 года, г.Харьков), XII Всесоюзной конференции по эмиссионной электронике (1990 г., г.Ленинград), XI Всесоюзном симпозиуме по механохимии и механоэмиссии твердых тел (11-14 сентября, 1990 г., г.Чернигов), Всесоюзной научно-теоретической конференции »Проблемы и

перспективы ядерно-геофизических методов в изучении ресурсов скважин" (19-24 июля, 1989 г., г.Обнинск), IX Республиканском семинаре по физике и технологии тонких пленок (14-17 октября 1988 г., г.Ивано-Франковск), Научно-практической конференции "Разработка аппаратуры для промыслово-геофизических и геолого-технологических исследований на нефтегазовых месторождениях Западной Сибири" (16-19 марта 1987 г., г.Тюмень), Всесоюзном семинаре по росту кристаллов (5-8 октября, 1990 г., г.Ужгород).

Публикации и личный вклад автора. Основные результаты и выводы опубликованы в работах, список которых приводится в конце автореферата [1-4]. В диссертации обобщены материалы исследований, которые являются результатом многолетней самостоятельной работы лично автора, а также выполнены в соавторстве с сотрудниками руководимой автором лаборатории при непосредственном участии автора. Автором сформулированы и обоснованы положения, выносимые на защиту.

Объем и структура диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Содержит 328 страниц, в том числе 68 рисунков, 22 таблицы и список цитируемой литературы из 196 наименований.

Содержание работы

Во введении рассматривается состояние проблемы, формулируется цель, очерчен круг вопросов, исследование которых составило предмет диссертационной работы. Сформулированы основные результаты работы и положения, вынесенные на защиту.

Первая глава диссертации посвящена определению уровня в данном разделе техники.

В ней проанализирована патентная ситуация в разработках и производстве сцинтилляционной продукции. Рассмотрены охраняемые документы за период 1975-93 гг., в которых защищались технические решения, относящиеся к сцинтилляционным детекторам ионизирующих излучений, используемых в каротаже, геофизике, аэрографии. Резкое увеличение количества подаваемых с 1988 года заявок подтверждает актуальность разработок и необходимость дальнейшего усовершенствования устойчивых к эксплуатации в жестких условиях детекторов.

Отдельно рассмотрены вибротермопрочные сцинтилляционные детекторы и блоки детектирования, выпускаемые промышленностью Украины и России. Из приведенных характеристик видно, что серийно изготавливаемые изделия не обладают требуемой устойчивостью к воздействию внешних факторов. Так, хотя в нормативно-технической документации приводится верхний интервал рабочих температур 150°C , реально выпускаемые детекторы работоспособны ограниченное время до температур $\sim 120^{\circ}\text{C}$. Результаты по надежности и достоверные результаты по сохраняемости отсутствуют. Аналогичная ситуация имела место и с зарубежными изделиями, которые, как оказалось, не могут длительно работать на верхнем пределе рабочих температур.

На основании проведенного анализа сформулирован выбор направлений совершенствования сцинтилляционной вибротермопрочной продукции.

В главе 2 рассмотрены конструкционные материалы, применяющиеся в сцинтилляционной технике, описаны их характеристики, критерии их выбора для решения различных задач и приведены результаты их использования. Проблема состоит в несоответствии температурных коэффициентов линейного расширения (ТКРЛ) различных материалов между собой. Особенно она трудно разрешима для кристаллов иодистого натрия, когда их высота намного превышает размеры основания.

Достигнутый в настоящее время верхний температурный порог эксплуатации детектора 200°C существенно ниже, чем температура ухода характеристик при нагреве кристалла $\text{NaI}(\text{Tl})$. Резервы расширения температурного интервала работоспособности детектора кроются не только в сцинтилляторе. С точки зрения практического использования важным является и создание изделий, которые выдерживают температуры выше 200°C вне зависимости от стабильности спектрометрических характеристик. Необходимо добиться как минимум обратимости процессов, избежать разрушения детектора в целом и отдельных его компонентов при таком нагреве.

Одна из возможностей улучшения потребительских свойств детекторов — использование материалов с повышенным ТКРЛ в конструкциях контейнеров.

Сплав марки 201.0 для диапазона температур $20\dots 300^{\circ}\text{C}$ имеет ТКРЛ практически равный ТКРЛ $\text{NaI}(\text{Tl})$, а значит, его применение

позволяет устранить несовместимость по теплофизическим свойствам контейнера и сцинтиллятора.

В этой же главе описаны клеевые конструкционные материалы, применяемые для герметизации в сцинтилляционной технике. При создании ВТП детекторов, работоспособных в интервале температуры от -60 до 150°C , с максимальным размером сцинтиллятора $\varnothing 40 \times 80$ мм, применяются герметики на основе жидких тиоколов или жидких полисульфидных каучуков.

Повышение прочности клеевых соединений достигается путем использования сочетания двух клеев. Из-за высокой адгезионной прочности и повышенной эластичности, а также благодаря малым внутренним напряжениям в качестве подслоя для крупногабаритных сцинтилляционных детекторов рекомендованы клеи марки УП-5-245; УП-5-233.

Клеевые соединения на основе модифицированных эпоксидных клеев марки УП-10-02, УП-5-231, УП-5-233 ПЭН применяются в детекторах, работоспособных в условиях термоперепадов, циклических нагрузках, повышенной влажности. При изготовлении больших партий сцинтилляционных детекторов важными характеристиками клеев являются их технологические свойства: удобная для нанесения консистенция, жизнеспособность готового к употреблению клея, технологические режимы склеивания. Нами проведена работа по улучшению технологических свойств модифицированных эпоксидных клеев. Так, результаты климатических и механических испытаний показали, что 16 патрий детекторов на основе $\text{NaI}(\text{Tl})$ и $\text{CsI}(\text{Na})$ различных типоразмеров, изготовленных как в лабораторных условиях, так и в условиях промышленного производства с использованием клеевой системы, состоящей из смоляной части клея УП-5-233 ПЭН с введением активного разбавителя УП-264 и отвердителя ТЭТА, выдержали воздействие температур от -60 до 150°C , вибрации с ускорением 50 м/с^2 , удары с ускорением 100 м/с^2 (1000 ударов), испытания на влагопрочность без изменения внешнего вида и с сохранением сцинтилляционных характеристик.

Для жесткого соединения элементов конструкций, подвергающихся длительному воздействию нагрузок, целесообразно применять клеевые композиции на основе элементоорганических полимеров, модифицированных эпоксидными смолами. Для отверждения композиций используются низкомолекулярные полиамиды,

что позволяет получать композиции с повышенной эластичностью, большой жизнеспособностью и сравнительно малой усадкой. Наиболее широкое практическое применение получили клеи К-400, ВТ-200, ВТ-25-250. В качестве наполнителя этих композиций используют нитрид бора, введение которого уменьшает различие между коэффициентами линейного расширения, снижает внутренние напряжения, повышает прочность и теплопроводность клеевой системы.

Клей ВТ-200 предложен для использования при изготовлении высокоэффективных термостойких крупногабаритных скважинных спектрометров СБН.04, СБН.05 показал себя инертным по отношению к сцинтиллятору до температур 200°C в замкнутой герметичной системе детектора.

В главе 3 рассмотрено применение кремнийорганических материалов в сцинтилляционной технике. Большое и разнообразное применение данных материалов обусловлено наличием у них комплекса требуемых уникальных свойств: высокой термостойкости, гибкости при низких температурах, устойчивости к влаге, химической устойчивости, радиационной стойкости и низкой токсичности. Широкий спектр применяемых кремнийорганических материалов объясняется прежде всего тем, что они значительно улучшают качество сцинтилляционных изделий, увеличивают срок их службы и в большинстве случаев дают заметный технико-экономический эффект. В сцинтилляционной технике нами предложено использовать как мономерные материалы, так и полимерные.

Мономерные кремнийорганические соединения эффективно используются в качестве сшивающих агентов при отверждении одно- и двухкомпонентных композиций на основе полиорганосилоксановых каучуков, лаков и смол для обработки водорастворимых кристаллов (шлифовки, полировки, повышения адгезии клеевых композиций к склеиваемым поверхностям).

Применение эфиров ортокремневой кислоты, способных растворять поверхность (так, например, растворимость CsI(Na) в тетрагидроксисилане 0,49 г на 100 мл) обеспечивает получение чистых бездефектных поверхностей и улучшение сцинтилляционных характеристик детекторов за счет уменьшения глубины нарушенного слоя, создание слоя с переменным показателем преломления. При обработке блочных кристаллов уменьшается вероятность образова-

ния трещин по границам блоков за счет меньшей химической активности полировальной жидкости.

В сцинтилляционной технике наиболее широкое применение получили олигоорганосилоксаны линейного строения. Особенность их строения приводит к малой зависимости их вязкости и других свойств от температуры. Благодаря этому олигоорганосилоксаны широко используют для создания элементов оптической связи (ЭОС) в детекторах.

Разветвленные силоксановые олигомеры могут использоваться для улучшения физико-механических свойств композиций. Так, например, введение разветвленного силоксанового олигомера в каучук с концевыми винилсилоксановыми звеньями позволяет повысить механическую прочность вулканизата в несколько раз и тем самым создать ЭОС в детекторе, предназначенном для эксплуатации в жестких условиях.

Отдельный раздел посвящен описанию применяемых в сцинтилляционной технике кремнийорганических эластомеров. Наиболее распространенный полидиметилсилоксан (ПДМС) работоспособен при 200°C в течение года, а при 450°C кратковременно. В условиях вакуума или инертной атмосферы чистые ПДМС стабильны до 350°C.

Низкомолекулярные силоксановые композиции по способу вулканизации делятся на две группы: отверждаемые по реакции поликонденсации и по реакции гидросилилирования. Низкомолекулярные силоксановые каучуки с концевыми силанольными группами Si-OH используют в отверждаемых при комнатной температуре одно- и двухкомпонентных композициях, свойства которых различны. Однокомпонентные составы имеют более высокую адгезию, меньшее сопротивление разрыву и большее относительное удлинение. В двухкомпонентных составах образование вулканизата происходит под действием катализаторов (оловоорганические соединения) с выделением летучих продуктов (этанол и др.). В композициях, отверждаемых по реакции гидросилилирования, в зависимости от условий отверждения и структуры исходных компонентов образуются твердые или гелеобразные продукты.

Из композиций на основе силоксановых каучуков для изделий сцинтилляционной техники изготавливают:

— ЭОС; полимерные матрицы сцинтиллирующих элементов из призм; полимерные основы эластичных сцинтилляторов (ненаполненные материалы на основе силоксановых каучуков);

— амортизирующие элементы; светоотражающие элементы; а также для герметизации элементов конструкций (наполненные материалы на основе полиорганосилоксановых каучуков и составы на их основе привитых сополимеров).

К недостаткам клеевых композиций на основе полиорганосилоксановых каучуков следует отнести низкую адгезию к поверхности ЩГК. Под действием механических и термических факторов нарушается ЭОС сцинтиллятора с выходным окном. Адгезия зависит от различных взаимодействий, возникающих между молекулами клея и поверхностью субстрата.

В работе рассмотрены различные случаи образования двойного электрического слоя при полимеризации в системе поверхность стекла - силоксановая композиция - кристалл. Расчеты показали, что при образовании как поверхностных, так и объемных связей величина адгезии квадратично зависит от падения потенциала в образовавшемся двойном слое. Измеренным значениям потенциалов соответствует адгезия $1,5 \text{ кг/см}^2$, а в экспериментах по равномерному отрыву нами получено $2,0 \text{ кг/см}^2$.

Оценка электростатического связывания отдельных атомов клея с поверхностью кристаллов показала, что чисто электростатическая связь приводит к созданию поверхностных ловушек, зависящих только от характера примеси.

Расширение применения полиорганосилоксановых каучуков проводилось в следующих направлениях:

— использование композиций с повышенной механической прочностью;

— использование композиции гелеобразной консистенции с улучшенными физико-механическими и технологическими свойствами;

— использование композиций, имеющих показатель преломления 1,52 на длине волны свечения сцинтиллятора.

Композиция СКТН-6В-УП обеспечивает высокую устойчивость сцинтилляционных характеристик детекторов, эксплуатирующихся в жестких условиях. Композиция СКТН-2БП-Г обеспечивает надежный ЭОС сцинтилляторов диаметром более 500 мм с выходным окном детекторов, не нарушающийся при любой пространственной ориентации детектора.

В работе предложено и рассмотрено применение кремнийорганических композиций для создания светоотражающих элементов. При изготовлении таких элементов в каучук вводят наполнители и специальные добавки перед тем, как произвести заливку в зазор между сцинтиллятором и корпусом детектора. Однако в системе возникают сложности со светосбором, обусловленные как оптическими характеристиками полимерных материалов (их коэффициент отражения ниже, чем у порошкообразных), так и изменением механизма отражения на границе сцинтиллятор-оболочка. Смачивание отражателем поверхности сцинтиллятора во всех случаях является фактором, вызывающим дополнительные потери сцинтилляций. Улучшить сцинтилляционные характеристики детекторов можно за счет увеличения содержания высокоотражающего наполнителя и за счет устранения смачивания введением порошкообразного отражателя между сцинтиллятором и полимерной светоотражающей оболочкой.

Повышение прочности силоксановых эластомеров без использования наполнителя возможно путем синтеза макромолекул блочной или привитой структуры. Применение композиций на основе стиролсилоксанового каучука СКТНСС-МЕД позволило изготавливать крупногабаритные сцинтилляционные детекторы весом ~100 кг, работоспособные при воздействии повышенных механических нагрузок, но не выдерживающие влияния положительных температур из-за наличия остаточного стирола.

Нами исследована вулканизация светоотражающих композиций СКТН-ЛЕСТ. Коэффициент отражения вулканизаторов зависит от дозировки отвердителя К-61. Содержание 6,0-7,0 частей (масс.) отвердителя на 100 частей (масс.) полимера является оптимальным и позволяет использовать состав в сцинтилляционных детекторах, работоспособных до 200°C.

Для изготовления светоотражающих покрытий малой толщины используют лакокрасочные материалы. Проведены исследования влияния составов, концентрации компонентов (наполнителей и сегментов), а также технологии нанесения эмалей КО-5124, КО-0148, КО-40-1-28-83, КО-40-1-50-86, КО-335-1-113-89, ВЛ-548 на оптические свойства покрытий в системе детектора. Лучшие сцинтилляционные результаты получены со светоотражающим составом КО-40-1-28-83.

Глава 4 посвящена исследованиям, связанным с конструкционными особенностями детекторов. Здесь же мотивируется принцип условного разделения детектора на отдельные взаимосвязанные узлы, которые в наибольшей мере определяют те или иные технические требования и эксплуатационные параметры изделий.

В начале представлены конструкционные особенности узла выходного окна детектора, позволяющие улучшать эксплуатационные характеристики детектора.

Для расширения интервала термомеханической прочности детектора исследовался ряд оптических материалов, способных выполнять функции выходного окна в детекторе. Оптимальным оказался монокристалл лейкосапфира, полированные пластины (толщиной 2-5 мм) из которого для излучения с $\lambda = 410-420$ нм имели пропускание 85-87%, а для излучения с $\lambda = 540$ нм — до 90%.

Показано, что в результате испытаний на воздействие одиночных ударов для вибротермопрочных детекторов на основе NaI(Tl), $\varnothing 30 \times 63$ мм, с ускорением 4000 м/с^2 , количеством ударов 20 и для виброударопрочных детекторов на основе CsI(Na), $\varnothing 40 \times 20$ мм, с ускорением 16000 м/с^2 , количеством ударов 9, световой выход, измеренный после них, не изменился. Традиционные детекторы с выходным окном из стекла К-8 ни один из критических режимов не выдержали, разрушились окна.

Узел выходного окна детектора представляет собой многослойную оптическую конструкцию (сцинтиллятор — элемент оптической связи — окно). У детекторов с большой высотой сцинтиллятора, т.е. с возможностью большого перемещения сцинтиллятора относительно контейнера, элемент оптической связи необходимо стабилизировать. Для этого центрирующему кольцу сцинтилляционного детектора придают функции опорного элемента, расположенного между поверхностью сцинтиллятора, обращенной к выходному окну, и плоскостью выходного окна. При этом потери света практически не возникают, т.к. внутренний диаметр опорного элемента несложно согласовать с площадью фотоприемника.

Применение опорного элемента позволяет разгрузить элемент оптической связи детектора как при механических нагрузках, так и при тепловом расширении. Его использование дает возможность обеспечить термопрочность сцинтилляционного детектора за счет разгрузки зоны оптического контакта, что позволяет значительно

упростить сам элемент оптической связи, уменьшить его толщину, избежать оптически нецелесообразных конфигураций, расширить круг приемлемых иммерсионных веществ с высокими оптическими характеристиками.

Опорный элемент нашел применение в детекторах, работоспособных до температур 160°C , в термостатированных спектрометрах СБН.10, работоспособных до температур 260°C , а также в детекторах СДН.132, работоспособных при температурах 225°C .

Потери света, возникающие в узле выходного окна детектора, обусловлены поглощением, френелевским отражением и явлением полного внутреннего отражения (ПВО), если первые два фактора можно устранить подбором соответствующих материалов, то потери, обусловленные ПВО, можно уменьшить только созданием сцинтиллятора специальной формы, например, выполнением прилегающей к фотоприемнику части сцинтиллятора в форме усеченного конуса большим основанием на фотоприемнике. Положительный эффект достигается благодаря тому, что лучи, отраженные от выходного основания внутрь сцинтиллятора в результате ПВО попадают на коническую поверхность и, отразившись от нее, возвращаются на выходное основание под углом, меньшим α_k .

Рассчитаны условия оптической «стыковки» элементов. При оптическом сочленении сцинтиллятора с фотоприемником с помощью известных иммерсий, имеющих показатель преломления в пределах 1,4-1,5, это условие требует, чтобы показатель преломления сцинтиллятора был $n_1 > 2,8$, что выполняется как для всех наиболее широко используемых ШГ сцинтилляционных материалов, так и для антрацена, стильбена и полистирола.

Одним из направлений совершенствования сцинтилляционных детекторов является использование современных технологий и, в частности, технологии спаивания стекла с металлом.

В работе проведены исследования по спаиванию стекла К-8 с контейнером из нержавеющей стали.

Детекторы, изготовленные в данных контейнерах, успешно прошли испытания на воздействие механических и климатических факторов в условиях скважинной эксплуатации. Также подобные контейнеры были использованы для герметичной упаковки жидких сцинтилляторов.

Узел детектора, противоположный сочленению с приемником фотоизлучения, называется входным окном. Герметичное соедине-

ние с контейнером этой части производится либо путем склеивания, либо свариванием.

Узел входного окна для детектора с $h \gg d$ должен иметь ряд конструктивных особенностей, чтобы обеспечивать термическую и механическую прочность и устойчивость детектора. Необходимо фиксировать сцинтиллятор внутри детектора. В работе предложен ряд технических решений, при которых у узла входного окна детектора кроме герметизации, появляются новые качества - упругая, напряженная, центрирующая посадка кристалла.

Для этого входное окно детектора выполняется ступенчатой криволинейной формы. По его внутреннему периметру уложено центрирующее кольцо со ступенчатым внутренним диаметром. Со стороны сцинтиллятора кольцо имеет больший внутренний диаметр, чем в средней и противоположной своей части. Эта часть кольца представляет собой посадочное место для торца сцинтиллятора. Посадка центрирующего кольца на торец сцинтиллятора напряженная. Материал кольца должен быть податливым для упругих деформаций, например, фторопласт.

Со стороны выходного окна также имеется центрирующее кольцо, установленное между сцинтиллятором и контейнером. Сам блок выходного окна представляет собой неподвижное соединение оптического стекла с контейнером детектора.

Особенностью конструкции самого сцинтиллятора является выпуклая или ступенчатая форма торца со стороны входного окна.

Одним из важнейших элементов сцинтилляционных детекторов, существенно влияющих на сцинтилляционные характеристики, является светоотражающая оболочка, что особенно важно для термочувствительных детекторов, т. к. именно для них характерны нарушения в оболочке в процессе жестких условий эксплуатации.

Достигнуть стабильности оболочки можно путем введения подпружиненного подвижного толкателя-компенсатора несогласованных тепловых изменений размеров кристалла и контейнера с упорным кольцом, что подробно описано в диссертации.

В главе 4 описаны способы согласования сцинтиллятора и упаковки с использованием амортизирующих элементов.

Стабилизация оптической системы сцинтилляционного устройства в условиях тепловых и механических воздействий требует обеспечения фиксированного взаимного расположения его элементов, что достигается при помощи амортизаторов.

Амортизирующие элементы и способ их изготовления выбирают в зависимости от назначения сцинтилляционного изделия, его конструкции и условий эксплуатации. Одним из путей реализации этой идеи является предложенный нами пружинный узел выходного окна детектора, выполненный в виде гофрированной мембраны с асимметричным гофром, большой уступ которого направлен в сторону герметично вклеенного выходного окна.

Усилия, возникающие в мембране, благодаря асимметрии гофра, действуют вдоль детектора, по нормали к выходному окну и фиксируют элемент оптической связи между окном и сцинтиллятором в постоянно поджатом состоянии.

Подобная конструкция детектора особенно эффективна для детекторов на основе сцинтиллятора большого размера, т. е. с большой удельной нагрузкой на выходное окно и способствует сохранению ЭОС. Это позволяет обеспечить высокие сцинтилляционные характеристики детектора в широком интервале механических и климатических воздействий.

Пружинящие элементы не позволяют жестко зафиксировать кристалл во время осевых ударных воздействий, особо опасных в направлении от выходного окна детектора ко входному.

Указанная компенсация и одновременная жесткая фиксация сцинтиллятора может быть осуществлена путем введения в детектор специального узла компенсатора, линейные размеры которого (высота) связаны с температурой обратно пропорциональной зависимостью. Такой компенсатор удлиняется при понижении температуры и укорачивается при ее повышении. К осевому сжатию такой компенсатор абсолютно жесткий.

Широкое распространение для изготовления амортизирующих элементов получили композиции на основе полиорганосилоксановых каучуков. Для них характерны низкая температура стеклования -127°C и кристаллизации -40°C , малые изменения вязкости и модуля упругости в широком диапазоне температур, рыхлая упаковка и высокая гибкость полимерных цепей.

Механические свойства силоксановых вулканизаторов при $+20^{\circ}\text{C}$ значительно ниже, чем у органических резин. Однако их твердость и эластичность почти постоянны в широком интервале температур, а прочность при растяжении с повышением температуры изменяется мало и при $200-250^{\circ}\text{C}$ оказывается выше, чем у

других резин. Механические свойства их хорошо сохраняются при тепловом старении.

Для повышения механической прочности в состав полиорганосилоксановых каучуков вводят мелкодисперсные наполнители, существенно улучшающие физико-механические показатели вулканизаторов.

В зависимости от типа полиорганосилоксанового каучука, наполнителя, вулканизирующего агента, различных добавок разработанные и выпускаемые в настоящее время кремнийорганические композиции отличаются друг от друга по вязкости, цвету, жизнеспособности, механической прочности и другим свойствам.

Серьезные требования предъявляются к амортизирующим элементам при конструировании сцинтилляционных детекторов с соотношением $L/D \geq 2$, эксплуатирующихся в условиях воздействия повышенных механических и климатических нагрузок. Для улучшения свойств и увеличения ресурса работы амортизирующие элементы, предварительно изготовленные в пресс-форме, после вулканизации термостатируют при температурах, несколько превышающих температуру эксплуатации.

Кроме того, амортизирующие элементы устанавливаются в корпус детектора с некоторым зазором, величина которого определяется условиями эксплуатации и размерами сцинтиллятора. Такие амортизирующие элементы использовались нами при разработке сцинтилловок со сцинтилляторами NaI(Tl) размерами $\varnothing 30 \times 70$ и $\varnothing 50 \times (150 + 400)$ мм, работоспособных в широком интервале температур (от -40 до $+200$) $^{\circ}\text{C}$, предназначенных для геологических исследований глубоких и сверхглубоких скважин.

Как показывает практика эксплуатации детекторов в условиях воздействия различных механических и климатических нагрузок, отказы наступают в связи: с разрушением (общим или локальным) сцинтиллятора, нарушением целостности выходного окна, появлением трещин в клеевых швах (нарушении герметичности), нарушением светоотражающей оболочки, попаданием отражателя в узел выходного окна, изменениями в ЭОС.

Указанные разрушения элементов детекторов чаще всего наступают из-за подвижек сцинтиллятора. Традиционный метод создания порошкообразной светоотражающей оболочки не позволяет

уплотнять отражатель до требуемых величин, что ведет к последующим нарушениям оболочки при термовоздействиях.

Для фиксации кристаллов различных типоразмеров предложен ряд технических решений. Одним из главных моментов технологического процесса изготовления детекторов является послойное формирование светоотражающей оболочки. Высота получаемого слоя ≈ 3 мм, а плотность $\approx 2,1-2,3$ г/см³. Именно данная, повышенная по сравнению с традиционной, плотность порошка обеспечивает неподвижность кристалла при механических воздействиях.

Глава 5 посвящена решению вопросов, связанных с термостатированием и термостабилизацией сцинтилляторов.

Для исследования разрезов глубоких геологоразведочных скважин с температурой на забое 200°C и выше требуется термостойкая, работоспособная в течение нескольких часов в экстремальных температурных условиях геофизическая аппаратура, в том числе для спектрометрического гамма-каротажа. Традиционно можно выделить следующие направления проведения работ:

- выбор сцинтиллятора;
- выбор теплопоглотителя;
- разработка и размещение в приборе термостабилизатора и компенсатора ухода выходного сигнала.

Обычно сцинтилляционный блок детектирования помещают в термостат. При этом между источниками излучения (горными породами) и сцинтиллятором образуются как минимум четыре поглощающие и ослабляющие излучение поверхности. Кроме того, неэффективно используется стесненное пространство скважинного прибора, т. к. из-за ограниченности диаметра приходится уменьшать диаметр сцинтиллятора.

В работе описан термостатированный сцинтилляционный блок детектирования СБН.10.54.250, в котором использован сцинтиллятор CsI(Na), что позволяет повысить эффективность на 15%. В конструкции использованы технические решения, позволяющие разгрузить ЭОС во время изменения температуры и тем самым термостабилизировать оптическую систему детектора. ФЭУ фиксируется амортизатором и залит герметиком в пермалоевый экран.

Результаты термоиспытаний блока показали, что при повышении температуры окружающей среды амплитуда выходного сигнала возрастает и несколько улучшается разрешение.

В блоке предусмотрено использование встроенного реперного гамма-излучателя цезий-137 активностью -10 Бк.

Концентрационная чувствительность блока позволяет производить каротаж низкоактивных осадочных отложений со скоростью 250-300 м/ч.

Блок прошел производственные испытания в составе скважинной аппаратуры спектрометрического гамма-каротажа при исследовании различных скважин глубиной до 5300 м. При этом характеристики спектрометра после 17 часов непрерывной работы при 200°C остались неизменными.

Важную роль играет механизм гасителя осевых ударных силовых воздействий и перемещений сцинтиблока, разработанный с целью предотвращения нарушений при эксплуатации. В процессе осевого смещения кристалла и ФЭУ, что происходит вследствие соответствующей направленности удара в момент погружения инструмента в скважину, воздействию подвергается диффузная светоотражающая оболочка. Внутренние слои оболочки увлекаются кристаллом, а внешние — наоборот, придерживаются контактирующими с порошком стенками термостата. В конечном итоге такой процесс заканчивается перераспределением порошка по объему светоотражающей оболочки, появлением разуплотненных участков. Кроме того, в процессе смещения ФЭУ может происходить резкая остановка и отрыв сцинтиллятора от ФЭУ, из-за сжатия эластичного амортизатора.

Указанных недостатков можно избежать, если в термостатированном сцинтилляционном блоке компенсатор несогласованных тепловых нагрузок, установленный во внутреннюю оболочку термостата, выполнить в виде гофрированного элемента, гофры которого заполнены находящимся в состоянии объемного сжатия эластичным материалом.

В рассматриваемом устройстве при нагреве никаких перемещений поверхностей кристалла относительно светоотражающей оболочки не происходит, поскольку гофрированный контейнер под воздействием кристалла растягивается пропорционально величине этого воздействия, полностью сохраняя их взаимное расположение в конструкции.

Глава 6 посвящена исследованию факторов, влияющих на распределение светового выхода в детекторах на основе сцинтилляторов с большим отношением высоты к диаметру.

Задача повышения чувствительности и эффективности регистрации γ -излучения осложнена ограничением диаметра детектора и может решаться путем увеличения высоты сцинтиллятора. С увеличением относительной высоты сцинтиллятора возникают трудности, связанные с уменьшением светосбора и его осевой однородностью, что в свою очередь вызывает ухудшение энергетического разрешения.

Осевое распределение светового выхода $C(z)$ определяется сцинтилляционной эффективностью η , коэффициентом светособирания τ , а также их зависимостями от координат сцинтилляции z .

Величина $\tau(z)$ во многом зависит от характера отражения света боковой поверхностью, соотношения зеркальной и диффузной компонент отражения, а также от соотношения геометрических размеров сцинтиллятора. Превалирование малых углов ($\alpha < 30^\circ$) в угловом распределении фотонов на выходе сцинтилляторов с $L \gg D$ (где L — высота, а D — диаметр кристалла) и возрастающая зависимость $\tau(z)$ объясняет экспериментально наблюдаемый факт, что для таких детекторов при значительной доле зеркальности боковой поверхности величина $\delta\tau > 0$.

При характерной для ЩГК степени шероховатости матированной поверхности величина $\delta\tau$ отрицательная для большинства детекторов с $L/D > 2$. Таким образом, имеется принципиальная возможность минимизации абсолютной величины продольного перепада светового выхода детекторов в широком диапазоне размеров.

Особый интерес представляют зависимости осевого распределения светового выхода от зеркальности стенок в поликристаллических сцинтилляторах, нашедших широкое применение в длиномерных детекторах, благодаря высоким механическим характеристикам и удобству получения детекторов необходимой формы. В работе исследованы зависимости энергетического разрешения R и δC от S/S_0 для поликристаллических сцинтилляторов, полученных экструзией монокристаллов $\text{NaI}(\text{Tl})$. Зависимость δC (S/S_0) для поликристалла более пологая, чем для монокристалла и при небольшой относительной длине в широкой области (от 0 до 30%) не зависит от зеркальности боковой поверхности. Это обстоятельство позволяет значительно упростить технологию изготовления детекторов, исключив индивидуальный подбор оптимального значения S/S_0 , ко-

торый необходим в случае монокристалла. При $L \gg D$ зависимость $\delta C(z)$ существенно круче и область приемлемых значений S/S_0 значительно уже. Зависимость $R(S/S_0)$ показывает, что аксиальная неоднородность световых выходов также влияет на R при $(\delta C) > 2$ и это влияние повышается с ростом отношения L/D .

Для монокристаллических сцинтилляторов при $L/D > 2$ $C(z)$ может быть либо возрастающей, либо убывающей, в зависимости от условий выращивания. В случае поликристаллов, независимо от положения ФЭУ, возрастающая зависимость $C(z)$ наблюдается в широком диапазоне величин L/D . Последнее обусловлено более однородным распределением активатора, а также дополнительным рассеянием света на границах зерен и других дефектах, возникающих как внутри, так и на поверхности во время экстракции.

Путем численного моделирования определено количество фотонов, попавших в плоскость выходного окна сцинтиллятора и их радиальное распределение, получены угловые зависимости распределения фотонов от геометрических размеров кристаллов.

В зависимости от высоты плоскости коллимации распределение по углам падения на плоскость выходного окна являются убывающими функциями. Для дальних плоскостей коллимации зависимости более крутые. По мере удаления плоскости свечения сцинтиллятора от выходного окна происходит перераспределение компонентов падающего на выходное окно светового потока в сторону увеличения доли прямого света.

Глава 7 посвящена особенностям сборки термостойких детекторов. В главе рассматриваются причины ухудшения сцинтилляционных характеристик, связанные с нагревом детекторов, и способы их устранения.

Получены экспериментальные результаты по влиянию нагрева на элементы детектора.

Одним из элементов является светоотражающая оболочка, формируемая обычно из порошков, предварительно обезвоженных прокаливанием. Проведенные исследования газовой выделений из порошков Al_2O_3 , MgO , LiF , ZnO , ZrO_2 показали, что наиболее интенсивно процесс наблюдается в интервале температур от 100 до 250°C. Прогрев порошков до 300-350°C в течение четырех часов приводит к уменьшению интенсивностей пиков в 8-10 раз по отношению к максимальному значению.

Главный элемент — сцинтиллятор, практически всегда подвергается перед сборкой детектора механической обработке, при этом его поверхность становится активной благодаря высокой концентрации дефектов. Нами исследована термодесорбция веществ с поверхности кристаллов NaI(Tl) и CsI(Na) после различных видов обработки с помощью масс-спектрометра МС-7303, встроенного в камеру сверхвысоковакуумного оже-спектрометра As-600. Нагрев проводили с постоянной скоростью 2, 5, 10, 15 град/мин. до температур ~400°C. В процессе нагрева кристаллов регистрировали пики, соответствующие остаточным газам в камере. Эксперименты показали, что независимо от скорости нагрева на кривых термодесорбции воды наблюдаются два характерных пика при $T = 150^\circ\text{C}$ и $T = 300\text{-}350^\circ\text{C}$. По-видимому, это соответствует двум состояниям с различными энергиями связи в адсорбированном слое на поверхности кристалла и в нарушенном приповерхностном слое. Если кристалл NaI(Tl) греть в течение 2-3 часов при температуре выше первого максимума на кривой термодесорбции, охладить, а затем снова нагреть до 350°C , то на кривой термодесорбции воды обнаружится только второй максимум. Результаты позволяют утверждать, что только после прогрева кристаллов до $330\text{-}350^\circ\text{C}$ на кривых термодесорбции не обнаруживается максимумов и последующие циклы нагрев-охлаждение не приводят к существенному изменению интенсивности пика с $m = 18$.

Наличие влаги на поверхности и в приповерхностном слое обрабатываемых кристаллов NaI(Tl) и есть одна из причин более крутого температурного хода сцинтилляционных характеристик детектора по сравнению с открытым сцинтиллятором. Десорбция влаги при температуре выше 150°C приводит к разрыхлению поверхности, ухудшению светоотражающих свойств. Возникающие при этом изменения являются необратимыми, т. к. для восстановления его характеристик требуется обработка и переупаковка кристалла.

Информация о глубине нарушенного слоя и элементов состава на поверхности и приповерхностных слоях получена с использованием РФЭС в сочетании с ионным травлением, при котором каждый раз определяли относительное количество кислорода на поверхности и в приповерхностном слое. Кристаллы после механической обработки имеют развитую поверхность и высокую способ-

ность к химическим реакциям. Результатом этого является высокая поверхностная концентрация кислорода (30-35 ат.%), которая сохраняется даже после кратковременной (до 60 с) очистки поверхности пучком аргона.

В главе 7 также рассмотрены вопросы, связанные с влиянием нагрева на сцинтилляционные характеристики детекторов.

Получение термоустойчивых сцинтиблоков возможно с использованием фотоумножителей ФЭУ-151, ФЭУ-158, Уренгой-2, работоспособных при температуре 200°C. Разработанные устройства на основе ФЭУ этих типов (СБН.04, СБН.05) успешно используются в геофизических исследованиях. Однако их спектрометрические возможности ограничены невысоким энергетическим разрешением ФЭУ чувствительностью фотокатода и другими характеристиками.

Энергетическое разрешение указанных сцинтиблоков стабильно до 120°C, а выше 155°C резко ухудшается. Это в первую очередь связано с температурным уходом керамических ФЭУ. Температурный ход светового выхода детектора NaI(Tl) зависит от концентрации активатора и элементов упаковки, но в любом случае, их вклад не дает таких резких ухудшений.

Нагрев влияет на конструкционные материалы, применяемые в сцинтилляционной технике. Из полимерных материалов при их эксплуатации выделяются летучие компоненты, приводящие к образованию налета на оптических деталях или к изменению газового состава среды, находящейся в замкнутом объеме. Исследование процесса выделения летучих продуктов из эпоксидно-кремнийорганических клеев показало, что при воздействии 200°C в течение 3 часов наименьшее количество выделяется из клея ВТ-200.

Проведенные с помощью время-пролетного масс-спектрометра исследования (при которых диапазон исследуемых масс составлял от 2 до 600 а.е.м.) показали, что прогрев на 20+40°C выше температуры эксплуатации во время вулканизации кремнийорганических соединений позволяет в 4 раза понизить содержание десорбируемых веществ.

На основе полученных данных предложен технологический цикл по сборке детекторов для жестких условий эксплуатации. Полученные результаты показывают необходимость разработки высокотемпературных технологий сборки детекторов, эксплуатирующихся в условиях повышенной жесткости. Найденные режимы

положены в основу технологии, в которой предусматривается прогрев и вакуумирование на этапах изготовления детектора. Технология может представлять замкнутый цикл. Одним из основных условий является исключение попадания остаточной влаги в объем детектора в процессе изготовления, что достигается выполнением сборки в условиях вакуума или в среде осушенного газа. В этих же условиях необходимо удалить влагу и летучие соединения из сцинтиллятора, материалов и комплектующих, что и было реализовано при изготовлении детектора СДН.132.

Глава 8 посвящена вопросам надежности сцинтилляционных детекторов. Аппаратура служит значительно дольше используемых сцинтилляционных детекторов. Детекторы зачастую являются сменяемыми элементами. Увеличение срока службы детектора является одним из важных факторов, позволяющих эксплуатировать приборы до полного физического износа.

Четко просматриваются три периода, характерных для физических процессов, происходящих в детекторах.

I период — приработка изделий. Число отказов велико, что связано с технологическими нарушениями и уровнем приемо-сдаточных испытаний. Длительность этого периода не превышает 100 часов.

II период — надежная работа изделий, отказов практически нет. Продолжительность периода может достигать 3000 часов и более в зависимости от типа детектора.

III период — физический износ изделия. Число отказов резко возрастает.

Эти данные дополняются результатами исследований процесса старения сцинтилляционных детекторов. Указанный процесс изучался путем испытаний на длительное хранение в нормальных климатических условиях, а также с применением нагрузок, имитирующих рабочие.

Сцинтилляционные параметры партии детекторов из 10 штук вибротермопрочного исполнения, измеряемые в течение 16 лет, соответствовали требованиям технической документации, причем 13 лет изменения параметров находились в пределах ошибок измерения (10%). Через 16 лет световой выход только двух детекторов ухудшился на 25%. Вероятность безотказного хранения данной партии детекторов в течение 16 лет равна единице.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

В приложениях проведены теоретические моделирования контактов щелочногалоидный кристалл-полимер. Исследовано влияние электрических сил на адгезию полимеров. Проведены расчеты энергии электрического связывания с поверхностью кристалла.

Основные результаты и выводы работы

Результатом разработки системного подхода явилось создание сцинтилляционных детекторов и блоков детектирования нового поколения, а также:

1. Разработана технология, включающая прогрев и вакуумирование на различных стадиях сборки сцинтилляционных детекторов, предназначенных для эксплуатации в жестких условиях. Определены температурные интервалы максимальной термодесорбции летучих соединений и воды из сцинтиллятора, конструкционных и оптических материалов, применяемых при изготовлении детекторов;

2. Предложены способы создания напряженной конструкции сцинтилляционного детектора путем механического формирования светоотражающих оболочек.

3. Предложен ряд конструкционных приемов, позволяющих полностью избавиться от разрушений детекторов из-за разницы в температурных коэффициентах линейного расширения (ТКЛР) оболочки и кристалла, при одновременном воздействии повышенных климатических и механических факторов.

4. Систематизированы показатели надежности для изделий сцинтилляционной техники, эксплуатирующихся в жестких условиях. Найдены материалы, применение которых при изготовлении детекторов обеспечивает достаточную сохраняемость при эксплуатации.

5. Сформулированы основные принципы термостабилизации и термостатирования, позволяющие создать принципиально новые изделия, превосходящие мировые аналоги по ряду характеристик.

6. Показано, что существенным фактором, влияющим на световыравнивание в сцинтилляторе с соотношением геометрических размеров высота много больше диаметра, является соотношение площадей диффузно и зеркально отражающих поверхностей. Найдены оптимальные соотношения как для моно-, так и для поликристаллов.

7. Разработаны безводные технологии обработки водорастворимых кристаллов.

8. Изучено взаимодействие в герметичном объеме составов на основе кремнийорганических, эпоксидно-кремнийорганических и эпоксидно-модифицированных смол со щелочногаллоидными сцинтилляторами при воздействии температур от -50 до 250°C . Предложены оптимальные составы клеев, не ухудшающие свойства сцинтилляторов.

9. Систематизировано применение кремнийорганических соединений в сцинтилляционной технике. Предложены оптимальные составы для создания элементов оптической связи, амортизаторов, светоотражающих оболочек.

Основные публикации по теме диссертации

1. Гринев Б.В., Семиноженко В.П. Сцинтилляционные детекторы ионизирующих излучений для жестких условий эксплуатации. / Харьков. Изд-во «Основа» при Харьковском ун-те. 1993. 155 с.

2. Гринев Б.В., Андриющенко Л.А. Конструкционные и оптические материалы сцинтилляционной техники. // ПТЭ. 1992. N 2. С.27-51.

3. Андриющенко Л.А., Гончаров А.И., Гринев Б.В., Янкелевич В.Л. Исследование возможности применения клеевых композиций на основе полиорганосилоксановых каучуков в сцинтилляционной технике // Оптические и сцинтилляционные материалы. Харьков: ВНИИ монокристаллов. 1988. Вып.22. С.67-75.

4. Андриющенко Л.А., Гершун А.С., Гладкова И.В., Гринев Б.В. и др. Применение эпоксидных модифицированных композиций для герметизации сцинтилляционных детекторов // Оптические и сцинтилляционные материалы: Харьков: ВНИИ монокристаллов. 1988. N 22. С.75-79.

5. Угловое распределение сцинтилляций в блоках детектирования / Б.В.Гринев, Н.Г.Кравченко, В.А.Тарасов и др. // Донецк. 1989. 25 с. (Препринт/АН УССР Дон ФТИ-89-9).

6. Андриющенко Л.А., Вершинина С., Гринев Б.В., Янкелевич В.Л. Высокотемпературные сцинтилляционные блоки для гамма-спектрометрии // Донецк. 1989. 24 с. (Препринт Дон ФТИ-89-66).

7. Гринев Б.В., Шкалето В.И., Янкелевич В.Л. Распределение света на выходе сцинтиллятора//Проблемы ядерной физики и космических лучей. 1989. Вып.32. С.77-81

8. Гринев Б.В., Янкелевич В.Л. Высокотемпературные сцинтилляционные блоки//ПТЭ. 1990. N4. С.77-80.

9. Никулина Р.А., Гринев Б.В., Говорова Р.А. Изучение возможности расширения диапазона эксплуатационных нагрузок сцинтилляционных детекторов//Материалы для электронной и атомной техники. Харьков. ВНИИМ. 1989. С.61-66.

10. Гринев Б.В., Кравченко Н.Г. Взаимодействие коллимированного гамма-излучения со сцинтиллятором//Проблемы ядерной физики и космических лучей. 1990. Вып.33. С.86-88.

11. Grinyov B.V., Yankelevich V.L. On the axial distribution of light output in cylindrical scintillation detectors/Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1991. A 306. P.229-232.

12. Андрющенко Л.А., Гринев Б.В., Янкелевич В.Л./Амортизирующие элементы для сцинтилляционных детекторов//ПТЭ. 1991. N3. С.63-66.

13. Исследование старения сцинтилляционных детекторов/Б.В.Гринев, Р.А.Никулина, С.П.Вершинина, Э.Л.Виноград//Атомная энергия. 1991. Т.70. С.50-51.

14. Гринев Б.В., Полторацкий Ю.Б., Тучин О.В., Янкелевич В.Л. О термостойкости сцинтилляционных детекторов на основе гигроскопичных щелочно-галогидных кристаллов//Атомная энергия. 1991. Т.70. Вып.6. С.413-414.

15. Гринев Б.В., Павлов Г.И., Чекарев М.А./Исследование поверхности йодида цезия после полировки//Проблемы ядерной физики и космических лучей. 1991. Вып.34. С.81-83.

16. Гринев Б.В., Янкелевич В.Л. Исследования осевого распределения световых выходов в сцинтилляционных детекторах//Проблемы ядерной физики и космических лучей. 1991. Вып.35. С.73-77.

17. Гринев Б.В., Ковтун Е.Д., Проценко А.И., Янкелевич В.Л. Возможность термостабилизации оптической системы сцинтилляционного детектора//Атомная энергия. 1992. Вып.6. С.495-497.

18. Выбор детектора для аппаратуры спектрометрического короткоглубоких скважин//Э.Г.Урманов, А.И.Янтер, Б.В.Гринев, В.Л.Янкелевич//Геофизическая аппаратура. 1992. Вып.96. С.130-134.

19. Гордеев С.И., Гринев Б.В. О поверхностных электронных ловушках в ЩГК и кристаллических оксидах металлов//ФТТ. 1992. Т.34. N10. С.3028-3034.

20. Термостатирование гамма-спектрометрических блоков детектирования/Л.А.Андрющенко, Б.В.Гринев, А.М.Литичевский и др.//Приборы и техника эксперимента. 1993. N1. С.227-230.

21. Grinev B.V. Principles of the creation of scintillation detectors for severe operation condotions//Abstracts IEEE 1993 Nuclear Science Symposium. San-Francisco. October 30- November 6, 1993. P.68.

22. Grinev B.V., Ivashchenko S.I., Litichevskii A.M. Scintillation detectors based on alkali halide crystals: improvement of operating characteristics//Abstract 4th European East-West Conference and Exhibition on Materials and Process. St-Petersburg. October 17-21. 1993. P.97.

23. Пат. 1526401 РФ, кл. G 01 T 1/20. Способ сборки сцинтилляционных детекторов/Гринев Б.В., Литичевский А.М., Горожанкин В.Г. и др. 7.09.88.

24. Пат. 1769169 РФ, кл. G01 T 1/202. Элемент оптической связи для сцинтилляционного детектора./Андрющенко Л.А., Гершун А.С., Гринев Б.В. и др. 24.06.91.

25. Пат. 1783458 РФ, кл. G 01 T 1/202. Способ сборки сцинтилляционного детектора/Гринев Б.В., Ковтун Е.Д., Проценко А.И., Андрющенко Л.А. 28.08.91.

26. Пат. 1559910 РФ, кл. G 01 T 1/20. Способ изготовления сцинтилляционного детектора/Гринев Б.В., Янкелевич В.Л., Андрющенко Л.А., Литичевский А.М. 09.03.89.

27. Пат. 1561708 РФ, кл. G 01T 1/20. Сцинтилляционный детекторю/Гринев Б.В., Янкелевич В.Л., Хромая И.В. 15.03.93.

28. Пат. 1612764 РФ, кл. G 01 T 1/20/Сцинтилляционный датчик/Н.Г.Кравченко Л.А.Андрющенко, А.С.Гершун, Б.В.Гринев. Оубл. 19.09.89.

29. Пат. 1626894 РФ, кл. G 01 T 1/202. Устройство для формирования светоотражающей оболочки в сцинтилляционном детекторе/Гринев Б.В., Литичевский А.М. 18.04.89.

30. Пат. 1685171 РФ, кл. G 01 T 1/20. Элемент оптической связи сцинтилляционного детектора/Андрющенко Л.А., Гершун А.С., Гринев Б.В. и др. 22.05.90.

31. Пат. 1699270 РФ, кл. G 01 T 1/202. Сцинтилляционный детектор/П.С.Сытник, А.С.Гершун, Б.В.Гринев.

32. Пат. 1699271 РФ, кл. G 01 T 1/202. Способ изготовления сцинтилляционного детектора/Гринев Б.В., Полторацкий Ю.Б., Тучин О.В., Янкелевич В.Л. 23.05.90.

33. Пат. 1709830 РФ, кл. G 01 T 1/202. Сцинтилляционный детектор/Гринев Б.В., Янкелевич В.Л., Андрющенко Л.А. и др. 23.02.90.

34. Пат. 1715067 РФ, кл. G 01 T 1/202. Устройство для формирования светоотражающей оболочки в сцинтилляционном детекторе/Гринев Б.В., Литичевский А.М.

35. Пат. 1725648 РФ, кл. G 01 T 1/202. Способ формирования светоотражающей оболочки в сцинтилляционном детекторе./Гринев Б.В., Мельник В.И., Литичевский А.М. 23.07.90.

36. Пат. 1746698 РФ, кл. C 09 G/02. Полировальный состав./Андрющенко Л.А., Гринев Б.В., Сотников В.Т., Гершун А.С. и др.

37. Пат. 1789947 РФ, кл. G 01 T 1/202. Способ изготовления сцинтилляционного детектора/Гринев Б.В., Янкелевич В.Л., Полторацкий Ю.Б., Тучин О.В. 28.08.91.

38. Пат. 1789946 РФ, кл. G 01 T 1/20. Термостатированный сцинтилляционный детектор/Гринев Б.В., Мельник В.И., Урманов Э.Г. 23.08.91.

39. Пат. 1805410 РФ, кл. G 01 T 1/202. Сцинтилляционный детектор, способ его сборки и устройство для осуществления сборки сцинтилляционного детектора/Гринев Б.В., Мельник В.И. 29.07.91

40. Пат. 1798971 РФ, кл. G 01 T 1/202. Устройство для обработки кристаллов./ Гринев Б.В., Литичевский А.М. 10.09.93.

41. Пат. 1807431 РФ, кл. G 01 T 1/202. Термопрочный сцинтилляционный детектор./Гринев Б.В., Мельник В.И. 14.09.93.

Подписано к печати 30.12.93 г.
Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 1, 7.
Тираж 100. Зак. 32. Бесплатно.

Ротапринт Института монокристаллов
Харьков, пр. Ленина, 60
30-70-97

AB 29.362