

ГЛАВА 4

МЕТРОЛОГИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ — БАЗА НАУЧНОГО РАЗВИТИЯ ИНСТИТУТА

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Как известно, измерение – это процесс определения количественного значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств (приборов) и выражения этого значения в принятых в данной области единицах. При этом измерение в ядерном приборостроении принципиально не отличается от любого другого. Именно с появлением возможности измерить те или иные величины ядерное приборостроение получило научную базу. Областью метрологии ядерного приборостроения являются способы достижения требуемой точности измерений, а также методы и средства обеспечения их единства.

Результатом проведения этих действий является некоторое число, которое показывает, во сколько раз измеренная физическая величина больше или меньше другой величины, принятой за единицу. Для ядерного приборостроения объектом измерений являются величины, характеризующие источники и поля ионизирующих излучений, а также эффекты, связанные с взаимодействием ионизирующих излучений с веществом, в частности, характеризующие воздействие излучений на человека.

Под метрологическим обеспечением понимают установление и применение научных и организационных основ, различных технических средств, метрологических правил, норм и стандартов, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. А под единством измерений понимают такие процессы, при которых их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью. Точность измерений – качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Чтобы решить поставленные задачи, необходимо создание широкой эталонной базы, разработка методик выполнения измерений, а также нормативно-технической документации, образцовых приборов и поверочного оборудования.

Особенностью величин, с помощью которых характеризуют ионизирующие излучения, является их многообразие, в том числе многообразие сред, в которых производятся измерения, зависимость от многих параметров (в частности, от энергетического, углового и пространственного распределений частиц или фотонов), отсутствие или сложность и дороговизна эталонных источников моноэнергетических частиц и фотонов, малая кратность отношений погрешностей нижестоящих и вышестоящих по поверочной схеме средств измерений, вызывающая повышенные трудности при передаче размеров единиц величин, необходимость регистрации как постоянного во времени, так и импульсного излучения, а также одних видов излучения на фоне других и т.д.

Важным элементом работы являлась и является поверка средств измерений, т.е. выполнение совокупности операций, выполняемых сотрудниками метрологического

отдела с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям, сравнением с эталонами. Поверка носит обязательный характер и проводится в отношении средств измерений, которые применяются в установленных законом и нормативными актами сферах.

В решении вопросов метрологического обеспечения, помимо специализированных подразделений СНИИП, принимали активное участие работники многих других подразделений – разрабатывающих и конструкторского отделов, ОТК, опытного производства. Кроме того, работы по метрологии проводились в тесном взаимодействии с ведущими институтами Госстандарта в области ионизирующих излучений, таких как ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, ВНИИФТРИ, 32-й ГНИИИ МО Российской Федерации, Центральная лаборатория радиационной безопасности ВМФ. Специалисты СНИИП совместно работали с представителями заказывающих управлений Минобороны, курировавшими вопросы метрологии, и с метрологическими службами основных приборных заводов отрасли.

Фактически, с проблемой метрологии ионизирующих излучений СНИИП (а тогда ЦКБ-1) столкнулся со дня своего основания. Разработка аппаратуры потребовала создания разнообразных образцовых средств и методов градуировки и поверки дозиметров, радиометров и спектрометров. Измерения производились в полях ионизирующих излучений. В начальный период решались частные задачи, возникавшие при разработке отдельных приборов. Но по мере расширения тематики ядерного приборостроения и распространения ее на различные отрасли науки, техники и промышленности метрология ионизирующих излучений выделилась в самостоятельное научное и техническое направление.

В 1957 г. в лаборатории № 23 (нач. лаборатории В.В. Матвеев), входившей в состав отдела М.Н. Пчельникова, были запущены первые рентгеновские установки с аппаратами РУМ-7 и РУП-200, оснащенные свободно-воздушными камерами, и в результате удалось разработать первый образцовый дозиметр фотонного излучения РП-1 (участвовали В.П. Володин, Р.Ф. Горлина, Г.И. Эльцин). Дозиметр – это прибор, преобразующий импульс фотона в электросигнал для последующего его перерасчета в единицы дозы излучения. Тогда же разработали проект размещения различных установок (прообраз будущего Метрологического центра СНИИП) в корпусе № 1 (руководитель В.Д. Камыщенко).

Затем почти все работы в области метрологии и дозиметрии вместе с уже имеющейся экспериментальной базой передали во вновь организованный отдел Д.П. Ширшова. Первая в СНИИПе лаборатория метрологии была организована в этом отделе в 1959 г. В 1963 г. ее определили как базовую в области ионизирующих излучений для предприятий Минсредмаша, а надзор за состоянием средств измерений ионизирующих излучений специальным приказом министр возложил на СНИИП, который в 1973 г. он назначил головной организацией по метрологии и измерительной технике в области ионизирующих излучений.

Отдел М.Н. Пчельникова стал работать в области измерений радиоактивных газов, аэрозолей, жидкостей, отбора проб объектов окружающей среды и их метрологического обеспечения. Впоследствии работы по метрологическому обеспечению развивались, в основном, в этих отделах, оформившись в следующие направления:

- дозиметрия полей фотонного и электронного излучений;
- радиометрия и дозиметрия полей и источников нейтронного излучения;

- радиометрия источников альфа-, бета- и гамма- излучений;
- радиометрия радиоактивных газов, аэрозолей и проб объектов окружающей среды.

Каждое из перечисленных направлений имело свою специфику, своих ведущих исполнителей – сотрудников СНИИПа. Так, на протяжении ряда лет развивалась экспериментальная база в области рентгеновского, гамма- и тормозного излучений с целью расширения диапазона измеряемой энергии фотонов и диапазона создаваемых мощностей доз. Для градуировки и проверки основной погрешности дозиметрической аппаратуры использовались, главным образом, установки с радионуклидными источниками ^{60}Co и ^{137}Cs . Для проверки энергетической зависимости аппаратуры в области низких энергий фотонов применялись источники рентгеновского излучения, а также установки тормозного излучения на основе ускорителей заряженных частиц.

В 1959-1975 гг. были введены в эксплуатацию и прошли государственную метрологическую аттестацию рентгеновские установки на различные диапазоны энергий РУМ-7, РУП-200, РУТ-60-20, РУМ-17 и другие, оснащенные системами формирования пучка, градуировочными линейками и эталонной аппаратурой, в частности, ионизационными камерами (разработчики В.П. Володин, К.И. Щекин, М.Ф. Лебедева, А.Н. Грязнов, Э.Ф. Гаррапов, Н.Б. Коротина, В.С. Усков, Ю.Г. Костылева и др.). В 1983 г. была передана в эксплуатацию установка с аппаратом РУП-400, позволившая охватить диапазон энергий 160-280 кэВ.

Поверочная гамма-установка УПГД-1 с коллимированным пучком, рассчитанная на диапазон мощностей доз до 5 Р/ч, в 1964 г. была модернизирована Э.Ф. Гарраповым, А.Н. Грязновым и Г.А. Дорофеевым, которым благодаря удачному выбору формы цилиндрического коллиматора удалось существенно уменьшить вклад рассеянного излучения, что имело принципиальное значение при градуировке и поверке. Установке был присвоен тип УПГД-1М, а выбранная форма коллиматора в качестве типовой вошла в государственный стандарт и нашла применение во многих поверочных гамма-установках.

В 1972 г. были введены в эксплуатацию промышленная поверочная гамма-нейтронная установка КИС-НРД-МБ, рассчитанная на диапазон мощностей доз до 150 Р/ч, а в 1986 г. – гамма-установка УПГ-02 на диапазон мощностей доз до 1500 Р/ч, на которой методом подобия воспроизводились радиационные поля с мощностью доз до 10^4 Р/ч и выше.

Исследования характеристик установок УПГД-1М, КИС-НРД-МБ и установок с рентгеновскими аппаратами РУП-200 и РУМ-7, выполненные совместно с ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в 1974-1984 гг., позволили аттестовать их в ранге рабочего эталона ВЭТ 8-10-84 (ученый хранитель Ю.Г. Костылева). В 1999 г. в состав эталона вошла установка УПГ-02.

В 1981 г. были введены в эксплуатацию разработанные в СНИИПе установки для измерения внешнего излучения дозиметрических гамма-источников: калориметр и два типа ионизационных камер, что давало возможность определения мощности экспозиционной дозы или активности источника (Е.М. Зубов, И.А. Корольков, Ю.Г. Костылева, И.П. Мысев, А.В. Пушкарев, М.Д. Холомов).

Среди разработанных в середине 80-х годов метрологических устройств особый интерес представляют две поверочные установки на основе бетатрона и микротрона для измерений в диапазоне эффективных энергий фотонов примерно до 9 МэВ. Использованный в установке промышленный бетатрон Б-25/30 был модернизирован и

укомплектован блоками управления, стабилизации и измерения энергии электронов, уровня излучения, а также снабжен системой формирования пучка. Это позволило использовать бетатрон в режиме генерации одиночных импульсов излучения, обеспечить стабильность энергии электронов и обеспечить погрешность измерения абсолютного значения энергии не хуже 200 кэВ.

В СНИИПЕ разрабатывались образцовые дозиметры, предназначенные для поверки установок с источниками излучения, а также рабочих средств измерений. Образцовые дозиметры фотонного излучения, кроме того, применялись для поверки радионуклидных гамма-источников с относительно малой мощностью дозы в геометрии типового коллиматора.

После первого разработанного в институте образцового дозиметра РП-1 (в 1963 г. его модернизировали Э.Ф. Гарапов, М.Ф. Лебедева, К.И. Щекин, применив вместо простейшей камеры более совершенную), на протяжении 1965-1992 гг. был создан ряд усовершенствованных образцовых дозиметров в основном фотонного излучения (таблица 1), а также бета-излучения (ДКБ-01С) и электронного излучения (дозиметр ДКС2-01 со сменными блоками детектирования).

Эти приборы обеспечивали измерения следующих величин:

- экспозиционной дозы и мощности дозы (приборы ДРГ2-01, ДКС2-01, ДКС-05, ДКБ-02С);
- поглощенной дозы в воздухе и мощности дозы (прибор ДКГ-07С);
- поглощенной дозы в мягкой биологической ткани и мощности дозы (прибор ДКС2-01), в частности, в коже (прибор ДКБ-01С);
- энергии и потока энергии пучка, переноса энергии и плотности потока энергии излучения (приборы 2633-01, ДКС2-01);
- электрического заряда и тока генераторов (приборы 2633-01, ДРГ2-01, ДКС2-01).

Большинство дозиметров – одноканальные со сменными ионизационными камерами, за исключением двухканальных дозиметров 2633-01 и ДКС2-01, предназначенных для регистрации нестабильного во времени излучения электронных ускорителей и рентгеновских аппаратов.

Таблица 1 - Характеристики образцовых дозиметров, разработанных в СНИИПе

Тип дозиметра, шифр темы, год начала серийного освоения	Диапазоны измерений (верхние пределы поддиапазонов)		Основная погрешность, %	Диапазон энергий фотонов, МэВ	Участники работ
	Мощность дозы и другие величины	Доза и другие величины			
2633-01 "Иртыш" 1968	10^{-2} – 10^2 Вт/м ²	$3 \cdot 10^{-1}$ – $3 \cdot 10^2$ Дж/м ²	6-8	5-300	Егоров Л.Б. Кузьмичев Ю.В. Медведева А.К., Мысев И.П. Самойлов П.С.
	$3 \cdot 10^{-6}$ – $3 \cdot 10^{-2}$ Вт	$3 \cdot 10^{-4}$ – 10^{-1} Дж	9-11	5-250	
	$3 \cdot 10^{-12}$ – $3 \cdot 10^{-8}$ А	$3 \cdot 10^{-10}$ – 10^{-7} К	1,5-3,5	-	
	-	$3 \cdot 10^{-10}$ – $3 \cdot 10^{-5}$ К	1,5-3,5	-	
ДРГ2-01 "Витим"	10^{-6} –3 Р/с	$3 \cdot 10^{-4}$ – $3 \cdot 10^2$ Р	5-10	0,03-1,25	Владимирова В.П. Грязнов А.Н. Егоров

1972	$3 \cdot 10^{-13} - 10^{-7}$ А	$10^{-10} - 10^{-6}$ К	2-3	-	Л.Б. Лебедева М.Ф. Кузьмичев Ю.В.
ДКС2-01 "Ветлуга" 1974	$2,5 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^4$ Вт/м ²	$1,5 - 5 \cdot 10^5$ Дж/м ²	8-11	0,66-300	Егоров Л.Б. Костылева Ю.Г. Кузьмичев Ю.В. Медведева А.К. Мысев И.П. Самойлов П.С.
	$2 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^5$ Вт	$10^{-3} - 10^2$ Дж	6-9	0,66-250	
	$10^{-6} - 5 \cdot 10^2$ Р/с	$10^{-3} - 3 \cdot 10^{-4}$ Р	5-8	0,03- 1,25	
	$3 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^4$ рад/с	$3 \cdot 10^6$ рад	6-9	0,66-100 10- 100(e)	
	$3 \cdot 10^{-13} - 10^{-4}$ А	$3 \cdot 10^{-10} - 10^{-4}$ К	1,5-4	-	
ДКС-05 "Вилюй" 1982	$6 \cdot 10^{-10} - 3 \cdot 10^{-3}$ А/кг ($2,4 \cdot 10^{-6} - 11$ Р/с)	$6 \cdot 10^{-8} - 2$ К/кг ($2,4 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^3$ Р)	6-8	0,03-3	Егоров Л.Б. Коньков К.П. Лебедева М.Ф. Медведева А.К. Самойлов П.С.
ДКГ-02С "Вишера" 1990	$3 \cdot 10^{-6} - 30$ Р/с	$10^{-5} - 10^4$ Р	4	0,02-3	Владимирова В.П. Егоров Л.Б. Жмуров С.А. Искусных М.М. Лебедева М.Ф. Самойлов П.С.
	$3 \cdot 10^{-8} - 0,3$ Гр/с	$10^{-7} - 10^2$ Гр	4	0,02-10	
ДКБ-01С "Березина" 1992	$3 \cdot 10^{-8} - 0,1$ Гр/с	$3 \cdot 10^{-5} - 10^2$ Гр	10	0,225- 2,27 (2)	Егоров Л.Б. Володин А.В. Искусных М.М. Мирский Д.Е. Самойлов П.С.
ДКГ-07С "Талон- 48Б" 1992	$3 \cdot 10^{-8} - 0,3$ Гр/с	$3 \cdot 10^{-5} - 90$ Гр	4-6	0,02-9	Егоров Л.Б. Искусных М.М. Каганович В.А. Мысев И.П. Рудакова Г.М.

Дозиметры, перечисленные в таблице, кроме ДКБ-01С и ДКГ-07С, прошли государственные испытания и были отмечены медалями ВДНХ. Производство дозиметров ДРГ2-01, ДКС2-01 и ДКС-05 освоил завод «Импульс», а некоторые приборы выпускаются до настоящего времени (ДКС-05). Промышленная партия дозиметров 2633-01 была выпущена СНИИПом в 1969 г. для научно-производственных центров страны, включая ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, ХФТИ, собственно СНИИП и др.

Образцы дозиметров ДКГ-02С, ДКБ-01С и ДКГ-07С в 1992 г. передали 32-му ГНИИ Министерства обороны РФ, где они находились в постоянной эксплуатации. В настоящее время после некоторой паузы проводятся разработки нового поколения образцовых дозиметров для различных условий эксплуатации. Предполагается, что они будут востребованы в XXI веке.

Параллельно с разработкой измерительных установок фотонного излучения для Метрологического центра и образцовых дозиметров широкого применения

разрабатывались специализированные прецизионные установки для других предприятий и организаций, поставлявшиеся в качестве средств метрологического обеспечения научных исследований или промышленного производства.

Экспериментальные исследования на линейных ускорителях электронов НИИЭФА им. Д.В. Ефремова при энергиях 1,5; 10 и 20 МэВ подтвердили ожидавшиеся характеристики всех приборов и правильность выбранных условий измерений, учитывающих влияние рассеянных электронов, ионизации, теплоизоляции и других параметров, а также совпадение значений средней энергии электронов по данным системы управления ускорителя и калориметра-цилиндра Фарадея в пределах 5 %, что не превышало суммарной погрешности обоих значений.

Экспериментальные исследования установки на ускорителе ЭГ-5-Э НИИЭФА (спектр электронов которого представлял узкую линию) показали удовлетворительное совпадение результатов градуировки его энергетической шкалы в диапазоне 1,2-3,1 МэВ с помощью калориметра - цилиндра Фарадея и по порогам фотоядерных реакций на ядрах бериллия ($1,67 \text{ МэВ} \pm 1,5\%$) и дейтерия ($2,23 \text{ МэВ} \pm 1\%$) с расхождением при указанных энергиях не более 2,4 %. Это позволило сделать вывод в акте межведомственных испытаний, проходивших в 1969 г., что «по своим характеристикам установка соответствует современному уровню измерительной техники».

В целом результаты работ СНИИП по метрологическому обеспечению измерений электронного излучения ускорителей можно признать достаточно успешными для своего времени (например, систематическая погрешность калориметра и цилиндра Фарадея, входивших в состав государственного первичного эталона потока электронов и потока энергии электронов с энергией от 5 до 50 МэВ ГОСТ 8.202-76 составляла 3 %).

Лабораторно-заводские испытания системы на бетатроне СНИИП на медных эталонах (одном из видов анализируемых элементов) с участием представителя ВНИИЯГГ подтвердили приемлемое среднеквадратичное отклонение мониторингования 0,55 % (со стабилизацией потока энергии пучка) и 0,8 % (с искусственно задаваемой оператором нестабильностью потока энергии). В 1972 г. система мониторингования была установлена и введена в эксплуатацию на одном из горно-обогатительных комбинатов Магаданской области.

В 1978 г. СНИИПом была закончена разработка и поставлена заказчику аппаратура для абсолютных измерений и мониторингования пучков фотонов и электронов с энергией до 6 ГэВ для синхротрона Ереванского физического института: калориметр полного поглощения дифференциального типа со свинцовыми поглотителями, гаусс-квантометры, цилиндры Фарадея, ионизационные камеры-свидетели и мониторы вторичной эмиссии с координатным механизмом, служившие одновременно для контроля стабильности во времени положения центра пучка, сигнально-измерительная стойка и партия электрометров. Было установлено, что точность измерений на синхротроне калориметром составила 1,1 %, систематическое расхождение между показаниями квантометров и калориметра на синхротроне и микротроне не превышало 2-3 %, а отношение расчетного значения чувствительности квантометра к значению чувствительности, определенной по показаниям калориметра, для синхротрона и микротрона являлось постоянным в пределах 1 %.

Прецизионная установка контроля без отбора проб при производстве тепловыделяющих продуктов, которая предназначалась для определения количества продукта путем измерения его тепловыделения, содержала адиабатный калориметр.

Температура в нем регистрировалась с помощью термометров сопротивлений, включенных в мостовые схемы постоянного тока, с обработкой результатов встроенной ЭВМ. Установка позволяла измерять тепловыделение в диапазоне 6-10 Вт с погрешностью не более 0,3 %. Ведомственные приемочные испытания в СНИИПе и на эксплуатирующем предприятии отрасли в 1984-1985 гг. (ВНИИНМ) подтвердили высокий технический уровень установки, «превышающий зарубежные и отечественные аналоги»: погрешность измерения тепловыделения «целой партии продукта в унифицированном транспортном стакане» - не более 0,2 %, расхождение с данными химического анализа - не более 0,5 %.

В 1973 г. в связи с программой увеличения выпуска приборов заводом «Электрон» и необходимостью повышения производительности его метрологической базы, Средмаш поставил перед СНИИПом задачу разработки для этого завода и других приборных заводов отрасли высокопроизводительного стационарного поверочного оборудования в области гамма- и нейтронного излучений. Были разработаны следующие виды поверочного оборудования:

– стенды с ручным управлением и с автономной защитой, позволяющие создавать мощность дозы гамма-излучения в диапазоне 10^{-4} - 10^3 Р/ч и применять источники нейтронов до $5 \cdot 10^7$ нейтрон/с, которые предназначались для регулировки, испытаний и поверки блоков детектирования и автономных приборов, в том числе с короткими соединительными кабелями;

– установки с коллимированными пучками или с открытой геометрией, находящиеся в каньонах и предназначенные для одновременного облучения партий блоков детектирования (индивидуальных дозиметров) или попеременного облучения блоков детектирования в автоматическом режиме.

Если поверочные установки создавались на основе стандартизованных требований и в них реализовались типовые условия проверки основной погрешности, то в поверочных стендах облучение проводилось в геометрии замкнутой полости на малых расстояниях от источников, отличающейся от типовых условий по угловому распределению прямого излучения и по вкладу рассеянного излучения. В связи с этим были развиты и стандартизованы методики поверки стендов, учитывавшие это отличие и позволявшие приводить результаты поверки к стандартным условиям.

Поверочные стенды совершенствовались в рамках различных тем, как составные части метрологического обеспечения («Сазан», «Ларга-Дюгонь», «Литий») и как одно из основных направлений темы «Ижора» для нужд Минобороны (гл. конструктор Ю.Г. Костылева, заместитель А.И. Рыбаков). В последней теме, в частности, были выбраны характеристики коллиматора гамма-стенда СПГ-05, позволявшие резко уменьшить рассеянное излучение в камере облучения аналогично тому, как это было выполнено ранее на установке УПГД-1М. Разработанные первоначально в СНИИПе стенды СПГ-04-02 для дозиметров с меньшими допускаемыми габаритами, чем у стенда СПГ-05, прошли Государственные испытания. Впоследствии была изготовлена партия таких стендов серийным заводом «Балтиец» для нужд Минобороны и народного хозяйства.

Дальнейшее развитие работы по созданию метрологических установок получили в теме «Локация» по заказу ЦНПО «Комета» (Е.Н. Кононов), завершившейся созданием в 1992 г. гамма-облучателя с источником нуклида ^{137}Cs активностью 70 Ки и вертикальным коллимированным пучком, служащего для оценки возможностей обнаружения ионизирующих излучений радиолокационными методами (Е.М. Зубов, Ю.Г. Костылева и

И.П. Мысев). При аттестации были получены важные данные о формировании поля гамма-излучения разработанным коническим коллиматором.

К рамках данной темы производилось моделирование полей гамма-излучения местности, зараженной радиоактивными веществами, для проверки дозиметров радиационной разведки с помощью набора гамма-облучателей с 2²²Р-геометрией. Это позволило сократить общее количество облучателей по сравнению с опубликованными ранее работами при одинаковой точности моделирования (Ю.Г. Костылева, И.П. Мысев).

Опыт эксплуатации многоканальных стационарных систем радиационного контроля объектов общей техники и АЭС выявил необходимость разработки средств и методов поверки измерительных каналов таких систем без демонтажа с объекта, а желательно и с рабочего места. По существовавшей технологии поверки блоков детектирования в специализированных помещениях с поверочными установками измерительные каналы на период поверки выводились из эксплуатации, а при отключении и повторном подключении к ним блоков была существенна вероятность разрушения линий связи.

Для исключения неблагоприятных событий в темах «Сазан» и «Ижора» был опробован метод поверки измерительных каналов с помощью компараторов – переносных поверочных устройств с радионуклидными источниками; по истечении межповерочного интервала по этим источникам контролировалась стабильность показаний канала, начиная с его поверки при выпуске. Был разработан комплект переносных поверочных устройств, содержащий необходимые для его внедрения поверочную схему для устройств, которые обеспечивали их взаимную согласованность в пределах 1,4 - 2,7 %, а также методики поверки измерительных каналов и самих устройств. Впоследствии комплект КППО-01 был дополнен по теме «Кама» (гл. конструктор В.Ф. Шевченко) необходимыми приспособлениями для поверки измерительных каналов систем, применяемых на АЭС.

В части измерений нейтронного излучения основными задачами метрологического обеспечения были:

– создание образцовых средств воспроизведения единиц плотности потока и флюенса нейтронов различного спектрального состава и разработка методик передачи этих единиц образцовым и рабочим средствам измерений;

– разработка нормативной документации по поверке и градуировке аппаратуры регистрации тепловых, промежуточных и быстрых нейтронов, а также разработка соответствующих средств поверки (градуировочные установки, вспомогательное оборудование и т.д.);

– разработка средств и методов аттестации источников по полному потоку нейтронов и контроля по нейтронному излучению параметров продукции, выпускаемой Средмашем.

Для решения этих задач в СНИИПе изготовили комплект изотопных источников нейтронов на основе Pu-²⁴⁰-Be, Ra-²²⁶-Be и Ra-²²⁶-Be. В качестве источника тепловых нейтронов использовался шаровой замедлитель из парафина диаметром 150 мм с Pu-²⁴⁰-Be источником в центре.

Для аттестации нейтронных источников был разработан образцовый всеволновый счетчик, который обеспечивал измерение полного потока быстрых нейтронов относительным методом для источников одинакового или близких спектральных составов, например, Pu-²⁴⁰-Be, Po-²¹⁰-Be, Ra-²²⁶-Be, Ac-²²⁷-Be источников.

Относительная погрешность измерений для указанных источников нейтронов не превышала 3 %, а для источников нейтронов с энергией в диапазоне от 0,024 МэВ до 5 МэВ – не более 5 %, что полностью отвечало требованиям государственной поверочной схемы для образцовых источников 2-го разряда при значениях полного потока от 10^4 до $5 \cdot 10^7$ нейтрон/с.

В радиометре использовался пропорциональный счетчик нейтронов, расположенный в замедлителе нейтронов. Геометрия замедлителя подбиралась таким образом, чтобы чувствительность радиометра для нейтронов с энергией от 0,025 эВ до 14 МэВ изменялась не более чем на 12 %. В дальнейшем этот радиометр получил широкое распространение на тех предприятиях народного хозяйства, где использовались нейтронные источники.

Одной из модификаций прибора был «всеволновый» радиометр, предназначенный для измерения полного потока нейтронов импульсных источников, так называемых импульсных нейтронных трубок, в которых нейтроны образуются по реакции $T(d, n) \text{ } ^4\text{He}$ при бомбардировке тритиевых мишеней дейтонами с энергией до 100 кэВ. В качестве детектора тепловых нейтронов использовались газоразрядные счетчики СТС-6, окруженные фольгой из серебра.

В 1962 г. нашему институту была задана разработка комплекса средств и методов измерения полного потока нейтронов источников с первоначальной энергией нейтронов, соответствующей спектру деления, искаженному при прохождении больших масс тяжелых материалов. При этом погрешность измерений выхода нейтронов должна была не превышать погрешности воспроизведения единицы этой величины Государственным эталоном. В состав комплекс включались:

- установка «сферический» детектор нейтронов – графитовая призма размерами с пустой полостью размерами в центре, предназначенная для аттестации нейтронных источников с полным потоком от 10^3 до 10^7 нейтрон/с в диапазоне энергий от тепловых до 14 МэВ с погрешностью относительных измерений не более 5 %;

- комплект радионуклидных источников быстрых нейтронов, включавший ^{124}Sb -Be, Ra -Be, ^{24}Na -Be;

- источник спонтанного деления ^{240}Pu ,

- источники моноэнергетических нейтронов с энергиями 2,4 и 14 МэВ, получаемых в реакциях $D(d,n)\text{He}$ и $T(d,n)\text{He}$ нейтронного генератора.

Полный поток нейтронов из реакции $T(d,n)\text{He}$ к тому времени определялся абсолютными методами сопутствующих частиц или методом «графитового замедлителя» с погрешностью около 1,3 %. Это потребовало разработки уникальной измерительной аппаратуры на базе телескопического газонаполненного пропорционального и полупроводникового счетчиков альфа-частиц, протонов и тритонов. Применение таких счетчиков и соответствующих методов измерений позволило создать образцовые источники нейтронов с энергией 14 МэВ и полным потоком нейтронов до $2 \cdot 10^9$ нейтрон/с, параметры которых определялись с погрешностью 1,5 %, и источники с энергией 2,4 МэВ и полным потоком до $2 \cdot 10^7$ нейтрон/с, погрешность которых не превышала 3 %.

Дальнейшее развитие метрологического обеспечения нейтронных измерений включало работы по совершенствованию (повышению точности воспроизведения физических величин, расширению диапазона плотности потока, потока, энергий нейтронов и т.п.) образцовых и рабочих средств СНИИПа, применявшихся при градуировке и проверке нейтронных радиометров, дозиметров и спектрометров, в т.ч.

создание образцовых средств измерений параметров нейтронных полей в ядерно-физических установках.

В качестве одного из образцовых источников диффузного поля тепловых нейтронов был использован «сферический» детектор. Большие размеры воздушной полости внутри замедлителя позволяли проводить градуировку и поверку радиометров с крупногабаритными блоками детектирования, применяемыми, например, в аппаратуре контроля и управления ядерными реакторами. Диапазон воспроизведения плотности потока тепловых нейтронов составлял от 10^2 до 10^6 нейтрон/(с·см²), а погрешность не превышала 5 %.

На основе «сферического» детектора, комплекта ²³⁹Pu-Be-нейтронных источников и радиометра РПН-07 была создана установка для градуировки радиометров по промежуточным нейтронам со средними энергиями 270, 390 и 640 эВ. Блоки детектирования градуируемых радиометров устанавливались за фильтрами из карбида бора. С помощью радиометра РПН-07 были определены коэффициенты, связывающие плотности потока тепловых, промежуточных и быстрых нейтронов с полным потоком Pu-Be источников с погрешностью, не превышающей 15 %.

В разработке и исследованиях усовершенствованного комплекса эталонных и образцовых средств на базе нейтронного генератора НГ-200 и радионуклидных источников принимали участие сотрудники Р.Д. Васильев, С.А. Графчикова, Г.А. Дорофеев, А.Г. Инихов, А.Ф. Казьмин, В.А. Чижов, В.Ф. Шевченко и др.

Все перечисленные источники быстрых и промежуточных нейтронов, за исключением редко применяемых в практике (²⁵²Cf, Be) источников, имели размытый спектр и характеризовались средней энергией. Для работы в области высоких энергий в СНИИПе применили ускоритель ЭГ-2,5 заводского изготовления. Чтобы использовать ускоритель в качестве образцового источника моноэнергетических нейтронов были разработаны дополнительные системы, позволившие корректировать положение пучка при входе в магнитный анализатор, стабилизировать выход нейтронов с погрешностью не более 1 % за 8 ч работы и транспортировать пучок заряженных частиц на расстояние 9 м в геометрический центр измерительного зала.

Средства измерений, применяемые для определения параметров нейтронных полей в ядерно-физических установках, должны обеспечивать измерения в широком диапазоне плотности потока и флюенса при энергиях нейтронов от тепловых до ≈ 10 МэВ. При этом сами детекторы не должны вносить заметных искажений в пространственное распределение нейтронов. В ядерных реакторах измерения должны проводиться непосредственно в активной зоне реактора, облучательных полостях, каналах СУЗ и т.д. Работы по обеспечению правильности и единообразия измерений параметров нейтронных полей в этих условиях проводились по следующим направлениям:

- разработка образцовых средств измерений, обеспечивающих прямые измерения плотности потока нейтронов в типичных для реакторов условиях;
- аттестация нейтронных полей в ранге эталонных и образцовых;
- разработка методик измерений, градуировки и поверки аппаратуры.

В качестве образцового средства измерений в диапазоне плотности потока тепловых и промежуточных нейтронов от 10^5 до 10^{14} и быстрых от 10^9 до 10^{14} нейтрон/(с·см²) была разработана радиометрическая установка РПН2-05, в которой применялся активационный метод измерений плотности потока, флюенса, эффективной

температуры распределения тепловых нейтронов и других спектральных параметров нейтронного поля. Установка РПН2-05 включала в себя наборы активационных детекторов, сцинтилляционный блок детектирования БДИСЗ-05 и устройство регистрации.

Поскольку диапазон изменений плотности потока при измерениях на ядерно-физических установках может превышать 14 порядков, потребовалось создание эталонных и образцовых полей нейтронов, обеспечивавших воспроизведение единицы плотности потока и передачу ее размера образцовым и рабочим средствам измерений в широком диапазоне значений плотности потока. Образцовые поля тепловых нейтронов с плотностью потока свыше 10^5 нейтрон/(с·см²) были созданы на базе реакторов Ф-1 и МР ИАЭ им. И.В. Курчатова.

Установку на базе реактора Ф-1 впервые аттестовали в СНИИПе в качестве образцовой в 1972 г., а в 1976 г. аттестовали во ВНИИНМе в качестве рабочего эталона плотности тепловых нейтронов. Активная зона реактора Ф-1 имела приблизительно шаровую форму диаметром 6 м и была окружена графитовым отражателем, к которому примыкала графитовая тепловая колонна, представлявшая собой призму размерами 120х120х240 см. Были аттестованы три воздушные полости: в центре горизонтального канала, проходящего через центральную плоскость реактора (горизонтальный канал); в центре графитовой тепловой колонны и в градуировочном колодце, где помещалась графитовая вставка с центральным сквозным вертикальным каналом.

В каналах реактора Ф-1, которые использовались для аттестации полей тепловых нейтронов, были исследованы пространственно-угловые характеристики и спектральные параметры поля тепловых и промежуточных нейтронов, определены мощность дозы фотонного излучения и плотность потока быстрых нейтронов. Аттестация каналов реактора Ф-1 по эффективной плотности потока тепловых нейтронов проводилась сравнением с Государственным первичным эталоном с помощью компаратора. Погрешность значений плотности потока тепловых нейтронов не превышала 2 %.

Для градуировки и поверки систем ВРК «Гиндукуш» на пятом энергоблоке Ново-Воронежской АЭС была разработана и внедрена установка «Ингода-Н». В конструкции измерительных каналов предусматривались калибровочные каналы диаметром 1,8 мм, проходящие в сборках ДПЗ по всей высоте активной зоны реактора, в которых при градуировке и поверке штатной системы облучались нейтроно-чувствительные элементы (НЧЭ) установки «Ингода-Н». Они представляли собой тонкостенную никелевую трубку длиной 360 см, в которой размещались проволочные активационные детекторы из сплавов алюминия. Предусматривалось также использование композиционных сплавных материалов с двумя и более изотопами, подобранными с учетом возможности разделения наведенной в них активности по периоду полураспада и энергии гамма-квантов.

При градуировке показания штатных ДПЗ системы «Гиндукуш» сравнивались со значениями плотности потока тепловых нейтронов и спектральными параметрами поля тепловых и промежуточных нейтронов, определяемых активационным методом с погрешностью, не превышавшей 5-7 %. Это обеспечивало относительные измерения пространственного распределения плотности потока нейтронов с погрешностью 2 % и определение абсолютных значений плотности потока и спектральных параметров с погрешностью менее 10 %.

Из приведенных выше описаний видно, какой огромный путь прошел СНИИП при создании образцовых средств и методов измерения, способных решать самые сложные

задачи в большом диапазоне энергий, создании нормативно-технической документации, образцовых приборов и современного поверочного оборудования.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ЦЕНТРА СНИИП В 2002-2012 ГГ.

Цой Н.В.

Дело создания в нашем институте Метрологического центра началось с установления в 1959 г. деловых контактов с Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологии им. Д.И. Менделеева, (ВНИИМ, г. Санкт-Петербург) – родины отечественных эталонов и одного из ключевых центров мировой метрологии. Этот старейший институт широкого профиля, основанный в 1842 г., в 50-х годах прошлого столетия существенно расширил и дополнил традиционные для себя направления работ принципиально новыми для метрологии направлениями: измерения для уточнения значений фундаментальных физических констант, развития теории и практики динамических измерений, гидрофизических измерений, а также измерений характеристик тепловых процессов и параметров физических полей.

Директор ВНИИМ В.О. Арутюнов предложил директору НИИ-1 С.В. Мамиконяну развернуть работы в области метрологии ионизирующих излучений и подготовить чертежи будущих образцов. В НИИ-1 новое дело, как уже отмечалось, возглавил В.В. Матвеев, тогда начальник лаборатории № 23 в отделе М.Н. Пчельникова. После запуска в эксплуатацию рентгеновских установок типов РУМ-7 и РУП-200, оснащенных свободно-воздушными камерами, в нашем институте создали первый образцовый дозиметр фотонного излучения, названный РП-1 (главные конструкторы В.В. Матвеев и В.П. Володин), а под руководством В.Д. Камыщенко в подвале главного корпуса (№ 1 или «А» на отметке «минус 6») началось в экранированном помещении размещение оборудования, чтобы минимизировать помехи от естественного фона Земли и различных внешних возмущений.

Как отмечалось выше, в том же 1959 г. работы в области метрологии и дозиметрии вместе с экспериментальной базой передали во вновь организованный отдел Д.П. Ширшова (№ 106), основу которой составили ведущие специалисты-метрологи Э.Ф. Гарاپов, А.Н. Грязнов, Л.Н. Крылов, И.П. Мысев, В.А. Чижов и др. Впоследствии, в 1963 г. СНИИП был определен как базовый институт в области ионизирующих излучений для предприятий Средмаша, а надзор за состоянием средств измерений ионизирующих излучений также возложили на наш институт, который в 1973 г. определили соответствующим приказом головной организацией по метрологии и измерительной техники в области ионизирующих излучений.

Эти решения последовали после создания отраслевого Метрологического центра, куда входил комплекс приборов измерений фотонного и нейтронного излучений, включая источники излучений и измерительную аппаратуру, являющуюся неотъемлемой частью метрологического обеспечения разработки и серийного выпуска заказанной плановой аппаратуры. Проработка вопросов метрологии дозиметров и радиометров позволяла решать следующие задачи:

– определять зависимость показаний аппаратуры от энергии фотонов и нейтронов;

– проводить градуировку и поверку аппаратуры во всем измеряемом диапазоне при фиксированной энергии.

В состав первоначального комплекса входили шесть установок рентгеновского излучения с различным диапазоном энергий, промышленная установка с автоматизированным управлением с изотопными источниками ^{60}Co и стенд подобия с образцовым источником того же ^{60}Co . Для проверки энергетической зависимости аппаратуры в области низких энергий фотонного излучения (от 5 до 200 кэВ) применялись установки рентгеновского излучения, в основе которых использовались промышленные рентгеновские аппараты, дополненные специальными системами формирования пучка с дистанционно управляемыми фильтрами и устройствами для стабилизации уровня излучения, а в области энергий свыше 1,25 МэВ – источники на основе бетатрона и микротрона.

По мере создания линейки приборов для измерения поглощенной дозы в мышечной ткани, актуальным стал вопрос создания методов и средств градуировки и поверки в области мягкого, рентгеновского излучения с возможным использованием ионизационных камер и калориметров. Был достаточно подробно проработан вопрос использования таких камер и калориметров.

Помимо указанных установок в состав Метрологического центра СНИИП входил стенд, позволяющий градуировать и проверять приборы по методу подобия радиационных полей, а установленная круговая установка для градуировки индивидуальных дозиметров в открытой геометрии добавила дополнительных возможностей центру. В конце 1970-х годов возникла необходимость дальнейшего увеличения верхнего предела диапазона градуировки, особенно по излучению ^{137}Cs , и специалисты института собирались оснастить наш комплекс установками с коллиматором и новым стендом подобия.

Одной из важнейших задач стало повышение надежности и обеспечение единства измерений мощности экспозиционных доз. Было решено использовать для ее решения электронные ускорители. Наши специалисты остановились на двух типах приборов: предназначенных для проверки зависимости показаний аппаратуры от энергии и способных вести проверку работы аппаратуры в полях излучения высокой интенсивности. При этом оба типа, задействованные в работе Метрологического центра, были существенно модифицированы в стенах СНИИПа.

Взяв за основу установку микротрон конструкции АН СССР, специалисты СНИИПа ее усовершенствовали, создав новые резонаторы, применив новационный стенд для СВЧ-измерений и усовершенствовав вакуумную систему, позволявшую после введения резиновых уплотнений поддерживать вакуум до 4×10^{-7} мм рт. ст., практически при безмасляной откачке, что значительно повысило долговечность наиболее ответственных элементов, а следовательно, и всей установки. Указанные меры позволили увеличить ресурс работы резонатора до 1800 ч без профилактического ремонта, т.е. примерно вдвое.

В небольшой статье невозможно описать все новации нашего центра. Так, используемая промышленная установка, выдающая гамма-излучение, комплектовалась дополнительным нейтронным коллиматором, позволявшим проводить градуировку как в открытой геометрии сжатым пучком вблизи от него, так и вести работу на значительном расстоянии, уменьшая при этом вклад рассеянного излучения. В результате проведения многочисленных опытов был сделан важный вывод: при толщине экрана 250 – 300 мм

средняя энергия нейтронов плутоний-бериллиевых источников с выходом до 5×10^7 нейтр./с. Использование экранов из железа для смягчения спектра нейтронов, позволило проверять энергетическую зависимость чувствительности нейтронной аппаратуры. При толщине экрана 250 – 300 мм средняя энергия нейтронов такого источника уменьшается в 3 – 4 раза при ослаблении плотности потока также в 3 – 4 раза.

Эталонная установка, названная УЭПТН-73, имеющая погрешность 2% при доверительной вероятности 0,99, состояла из шести плутоний-бериллиевых источников нейтронов и замедлителя. Плотность потока тепловых нейтронов создается в ней в воздушной полости диаметром 20 см, расположенной в центре сферического замедлителя диаметром 55 см. Исследования в Метрологическом центре показали, что погрешность системы не превышала 0,5% за 8 ч; при этом ее можно будет снизить при воспроизведении на мониторе с 10 до 3 – 5%.

Работы в области метрологии, наши ведущие специалисты проводили не только совместно с ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, но также со специалистами Государственного научного центра РФ – ВНИИФТРИ (Институт физико-технических радиоизмерений) в пос. Менделеево Московской области, где разрабатывались и продолжают разрабатываться, а также хранятся соответствующие эталоны.

Описанные выше и другие, входившие в центр поверочные установки с радионуклидными источниками и созданные на базе электрофизических установок, а также образцовые меры и приборы, используемые в СНИИПом при разработке и выпуске средств измерений ионизирующих излучений, были функционально объединены в Метрологический центр НИЦ «СНИИП», получивший в 1993 г. статус Отраслевого метрологического центра в области дозиметрии и радиометрии.

Особое внимание при создании центра было обращено на взаимное согласование всех входящих в его состав образцовых мер и поверочных установок, что и помогло добиться успеха и признания коллег из других научных центров. Безусловно, наличие современного и прекрасно оснащенного Метрологического центра СНИИП стало важным конкурентным преимуществом нашего института.

Таблица 2. Состав метрологического центра НИЦ «СНИИП» для измерения ионизирующих излучений по данным на середину 1980-х годов.

Наименование	Технические характеристики	Назначение
1. Рабочий эталон ВЭТ 8-10-84 в области дозиметрии гамма-, рентгеновского излучения на основе: - рентгеновской установки РУМ-7, - рентгеновской установки РУП-200, - гамма-установки УПГД-1М, - гамма-установки КИС-НРД-МБ	5—32 кэВ, 0,05—100 Р/ч 28—125 кэВ, 0,005—10 Р/ч 0,66 МэВ, 0,1—1 Р/ч 1,25 МэВ, 0,001—100 Р/ч	Градуировка и проверка энергетической зависимости при испытаниях и поверке основной массы образцовых и рабочих дозиметров
2. Рабочий эталон ВЭТ 72-1-84 в области дозиметрии тормозного излучения высоких энергий на основе бетатрона Б-25/30	2,5—9 МэВ, 0,0002—5 Р/ч	Проверка энергетической зависимости дозиметров, используемых вблизи ядерных энергетических установок

<p>3. Образцовые средства измерений в области дозиметрии высокоинтенсивного гамма-, рентгеновского излучения на основе:</p> <ul style="list-style-type: none"> -рентгеновской установки РУМ-17, -рентгеновской установки РУП-400, - гамма-установки УПГ-02, -импульсного гамма-стенда СПГ-02 	<p>100—200 кэВ, 0,1—300 Р/ч 200—300 кэВ, 1—20 Р/ч 0,66 МэВ, 0,3—3·10⁴ Р/ч 0,66 МэВ, 0,1 с, 10⁴ Р/ч</p>	<p>Градуировка и проверка энергетической зависимости дозиметров аварийного диапазона и (или) регистрирующих высокоэнергетическое рентгеновское излучение</p>
<p>4. Рабочий эталон ВЭТ 10-2-83 в области радиометрии нейтронных источников на основе установки “Графитовая призма” и комплекта источников</p>	<p>50—5·10⁷ с⁻¹ (тепловые нейтроны) 10⁴—10⁷ с⁻¹ (тепловые и быстрые нейтроны) 10⁴—3·10⁶ с⁻¹ (тепловые и быстрые нейтроны)</p>	<p>Аттестация образцовых и рабочих радионуклидных нейтронных источников, в том числе, используемых при производстве продукции Минатома специального назначения</p>
<p>5. Рабочий эталон ВЭТ 10-3-73 в области радиометрии тепловых нейтронов на основе установки УЭПТН-73</p>	<p>6,7·10⁶ с⁻¹ ·м⁻² (тепловые нейтроны)</p>	<p>Аттестация образцовых и рабочих источников и радиометров тепловых нейтронов</p>
<p>6. Образцовые средства измерений в области радиометрии и дозиметрии моноэнергетических нейтронов на основе:</p> <ul style="list-style-type: none"> -электростатического ускорителя ЭГ-2,5 - нейтронного генератора НГ-150И 	<p>0,005—1,2 МэВ, (0,5—5)·10⁷ с⁻¹м⁻² 2,5—5,5 МэВ, 5·10⁶ с⁻¹м⁻² 12,5—18,5 МэВ, 2·10⁸ с⁻¹м⁻² 2,5 МэВ, 5·10⁸ с⁻¹м⁻² 14 МэВ, 2·10¹⁰ с⁻¹м⁻²</p>	<p>Градуировка и проверка энергетической зависимости при испытаниях и поверке нейтронных дозиметров и радиометров радиационного контроля при хроническом и аварийном облучении персонала и технологического контроля ядерных энергетических установок</p>
<p>7. Рабочий эталон ВЭТ 6-15-79 активности нуклидов на основе установки совпадений УСП</p>	<p>10²—2·10⁴ Бк, 0,3—3%</p>	<p>Аттестация радионуклидных образцовых и рабочих альфа-, бета-, гамма-источников, включая источники типа ИК-0, ИТ-4</p>
<p>8. Рабочий эталон ВЭТ 7-1-79 массы радия и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на основе набора источников</p>	<p>0,1—100 мг Ra, 3%</p>	<p>Аттестация всех источников радия в отрасли</p>
<p>9. Комплект образцовых альфа- и бета-источников с компараторами</p>	<p>20—2·10⁵ Бк ИР9-6П9 10—10⁵ частиц/с ИР9-6П9 4—150 Бк ИУ4-6У4 2—75 частиц/с ИУ4-6У4 3—550 Бк ИУ8-6У8 2—270 частиц/с ИУ8-6У8 8—2·10⁸ Бк ИСО-6СО</p>	<p>Аттестация наборов образцовых источников поверочных лабораторий и рабочих источников</p>

	4—10 ⁸ частиц/с IC0-6C0	
10. Образцовые установки: - гамма-, нейтронного излучения, - УКПН-1М нейтронного излучения	⁶⁰ Co, ¹³⁷ Cs до 5 Ки Pu -Be, ²⁵² Cf до 10 ⁸ с ⁻¹	Градуировка и поверка гамма-, нейтронных дозиметров и радиометров в различной геометрии
11. Генератор радиоактивных газов на основе радиометра РГБ-07 и источников радиоактивных газов	5·10 ⁴ —5·10 ¹³ Бк/м ³ (³ H) 5·10 ³ —5·10 ¹² Бк/м ³ (⁴¹ Ar, ⁸⁵ Kr, ¹³³ Xe, ¹⁴ C(CO ₂)) 10 ² —10 ⁶ Бк/м ³ (²²² Rn)	Градуировка, испытания и поверка радиометров радиоактивных газов
12. Генератор искусственных аэрозолей с образцовым радиометром “Омела”	3,3·10 ⁻² —3,7·10 ⁴ Бк/м ³ (²³⁹ Pu) 5,4—1,8·10 ⁵ Бк/м ³ (⁹⁰ Sr+ ⁹⁰ Y) 7·10 ⁻² —4·10 ² Бк/м ³ (U _{ест.})	Градуировка, испытания и поверка аэрозольных радиометров, изготовление специальных аэрозольных источников
13. Комплект образцовых жидких источников и компараторов в области радиометрии жидких, сыпучих и твердых сред	10 ⁻² —10 ² ДКБ, ДЗД основные радионуклиды (более 15)	Создание образцовых источников-имитаторов измеряемых объектов для градуировки, испытаний и поверки радиометров загрязненности водоемов, территорий, стройматериалов, пищевых и сельскохозяйственных продуктов и др.

РАБОТА СНИИП ПО УНИФИКАЦИИ, НОРМАЛИЗАЦИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ В ЯДЕРНОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

к.т.н. Хазанов Д.Б.

Специфические свойства ядерных излучений, как известно, обусловили методы их измерений и потребовали создания целой отрасли – ядерного приборостроения. Современные приборы создают совместным трудом физики и химики, электронщики и радисты, конструкторы и технологи, словом, специалисты в самых разных отраслях. Сохранение и обобщение результатов комплексного труда, создание на базе наиболее удачных решений унифицированных измерительных устройств или отдельных блоков и узлов широкого применения – именно такая стояла задача, которую оказалось возможно решить с помощью унификации, нормализации и стандартизации.

Унификация относится не только к номенклатуре изделий. Это также сокращение неоправданного многообразия документов, приведение к единообразию их форм, структуры, языковых конструкций и операций по обработке, учету и хранению. При этом стандартизация вводит в норму оптимальные правила и требования по разработке и оформлению документов, принятых в установленном порядке для всеобщего их применения в делопроизводстве. Одной из основных задач нормализации в приборостроении является разработка и внедрение блоков, выполняющих одинаковые функции и имеющих одинаковые характеристики, независимо от назначения той

аппаратуры, в состав которой они входят. Массовое изготовление взаимозаменяемых блоков по единым межотраслевым нормам открывает широкие перспективы для развития специализации в ряде отраслей современного приборостроения.

Эти понятия (унификация, стандартизация и нормализация) являются звеньями одной и той же цепи мероприятий, направленных на сокращение сроков проектирования, рационализацию промышленного производства и быстрее внедрения в серийное производство, как целевой аппаратуры, так отдельных блоков и узлов, имеющих универсальное применение. Именно при построении типовых образцов с использованием максимального количества нормализованных узлов и деталей будет обеспечено высокое качество разработок, а также сокращается себестоимость продукции. Стандартизация призвана узаконить в государственном масштабе виды и параметры приборов, ввести единообразие в классификацию, определить оптимальные конструктивные размеры.

Как известно, в ядерном приборостроении крайне редко необходимо крупносерийное производство и даже выпуск изделий средними партиями. Обычно прибор или блок снимаются с производства прежде, чем амортизировалось специально спроектированное для его выпуска оборудование. Данное положение препятствует внедрению прогрессивных форм и методов производства и негативно влияет на производительность труда. Выход из создавшегося положения видится в максимальном внедрении принципов организации крупносерийного производства, а затем использовании прибора, необходимого для нужд нашего предприятия.

Уже в первой половине 1960-х годов стали разрабатываться многочисленные радиометрические и спектрометрические приборы для ядерных исследований. У разработчиков получил распространение так называемый блочный метод конструирования. Он заключался в том, что из общей схемы устройства или прибора выделялись блоки и узлы, решающие самостоятельные функциональные задачи, многократно повторяющиеся в ряде приборов и установок. Конструктивно такие функциональные схемы стали оформляться в виде блока с автономной передней панелью и расположенными на ней органами управления и индикации. Каждый блок оканчивался штепсельным разъемом, обеспечивающим включение в общую схему установки.

Для внедрения в практику блочного метода конструирования необходимо было прежде всего решить две задачи. Во-первых, создать систему основных конструктивных элементов универсального применения. Во-вторых, определить для каждого вида блоков типоразмерный ряд, необходимый и достаточный для удовлетворения текущих потребностей и открытый для пополнения при возникновении новых требований, обусловленных новыми задачами отрасли.

Приборы и установки различных назначений теперь создавались путем компоновки блоков вместе с блоками питания, разработанными по аналогичному принципу для унифицированного ряда номинальных напряжений. Данная система конструирования обладала следующими преимуществами:

- Широкая номенклатура приборов для народного хозяйства и различной степени сложности обеспечивается минимальным числом хорошо отработанных, обладавших высокой степенью технологичности блоков, отличавшихся большой надежностью и низкой стоимостью.

- Блоки могут выпускаться самостоятельно, на различных предприятиях, что создает предпосылки для специализации производства, а создание необходимого задела блоков будет способствовать значительному ускорению производственного цикла.

- Создается возможность неспециализированным предприятиям (научно-исследовательским институтам, научно-инженерным центрам, лабораториям) на базе блоков создавать ту из установок, которая им необходима для проведения научного эксперимента.

- Создается база для непрерывного совершенствования аппаратуры, поскольку появление новых схемных решений не влечет за собой переделки всех ранее созданных приборов, а приведет лишь к замене устаревших блоков более современными (или к дополнению ряда блоков новыми типами).

- Блочные конструкции обладают высокими эксплуатационными качествами, так как наличие запасного комплекта соответствующих блоков позволят осуществить быструю замену неисправного, практически не прерывая работы всей установки.

В 1960 г. были в основном проведены, и к следующему году полностью завершены в СНИИПе работы по созданию конструктивных систем стоек и шасси для лабораторной электронно-физической аппаратуры. Дальнейшее развитие данного направления позволило получить улучшенные характеристики приборов самого широкого назначения; от малогабаритных полевых лабораторий и автомобильных станций для геофизических исследований до сложных многоканальных систем и комплексов.

Предпосылкой для продолжения проведения блочного конструирования являлось целесообразное деление аппаратуры на функциональные блоки. К 1962 г. для изделий ядерного приборостроения была принята следующая укрупненная классификация:

- дозиметры;
- радиометры;
- спектрометры;
- блоки детектирования излучений;
- радиоэлектронные блоки и устройства.

В последующие годы данная классификация была развита в каждой группе, но принципиально не изменилась. Так, радиометрами считали приборы, измеряющие активность изотопа в радиоактивном источнике или плотность потока квантов. Дозиметры измеряют переносимую энергию излучения, т.е. поглощенную, экспозиционную дозу или мощность дозы. А спектрометры позволяют измерять распределение ионизирующих излучений по энергии, во времени и пространстве, а также массу частиц.

По мере развития и совершенствования приборостроительной базы, в класс радиоэлектронных блоков стала входить аппаратура, обеспечивающая измерение интенсивности, энергетический и временной анализ излучений, а также измерение пространственно-временного распределения полей и зарядов. Это привело к разделению данного класса на 12 подклассов, каждый из которых имеет самостоятельное значение.

СНИИП активно включился в данную работу, которая стала в числе приоритетных на протяжении ближайших десятилетий. На первых порах был создан нормоконтроль конструкторской документации и информация о действующих стандартах и технических условиях, а с момента организации в конце 1962 г. научно-исследовательского отдела

стандартизации (НИОС) и с переходом на функционально-блочный метод разработки аппаратуры на основе унифицированных несущих конструкций и полупроводниковой техники работы по стандартизации проводились широким фронтом, приобрели международную, государственную и отраслевую направленность и ставили своей целью создать нормативную основу для быстроразвивающейся ветви приборостроения, обеспечивающей измерение ионизирующих излучений, которая к тому времени практически еще не имела стандартов не только в СССР, но и за рубежом.

Руководство института поставило задачу: способствовать росту технического уровня и качества изделий ядерного приборостроения и упорядочить в целом деятельность предприятий, разрабатывающих, производящих и эксплуатирующих эту аппаратуру. Это требование накладывало свой отпечаток на характер и очередность разрабатываемых стандартов.

Установлению технически обоснованных, а главное, прогрессивных норм и требований в разрабатываемых стандартах предшествовали сбор и анализ технических характеристик приборов, выпускаемых фирмами развитых капиталистических стран (США, Франция, ФРГ, Япония и др.). Так, в частности, по патентным данным были проверены за 1965 — 1966 гг. и занесены в картотеку 1250 дозиметрических, радиометрических и спектрометрических, а также 350 радиоизотопных приборов, 1700 электронных блоков и устройств. Подобная работа продолжалась и в последующие годы и позволила заложить в разрабатываемую аппаратуру показатели, соответствующие мировому уровню.

Одним из первых разработанных в СНИИПе основополагающих стандартов была классификация изделий ядерного приборостроения, одобренная и принятая в СЭВ ее Постоянной комиссией по использованию атомной энергии в мирных целях, на основе которой удалось разработать отраслевой раздел общесоюзного классификатора продукции. Другой областью стандартизации явилось установление единства терминологии средств измерений радиоактивности и ионизирующих излучений, увязанной с аналогичными работами, проводимыми в МЭК по созданию Международного электротехнического словаря (МЭС), в составлении которого специалисты СНИИПа принимали активное участие.

Одной из задач систематизации являлась разработка единой классификации изделий ядерного приборостроения. Созданная в 60-е годы, она была единой для Советского Союза и стран – членов СЭВ. Группу специалистов СНИИПа при проведении работы возглавлял Д.П. Ширшов. Предложенный проект касался классов приборов, предназначенных для измерения ионизирующих излучений. Кроме основного типа аппаратуры, использовались также специальные приборы для контроля безопасности, поисковые и горнодобывающие, прочие для нашей отрасли.

Важным направлением в стандартизации являлось установление номенклатуры показателей качества. В разработке таких стандартов СНИИП являлся пионером, так как первые государственные стандарты этой системы были утверждены на дозиметрические, радиометрические и спектрометрические приборы, а также на электронные блоки и устройства по предложению наших специалистов. Дальнейшим развитием этого вида стандартизации явились стандарты, устанавливающие типы и основные параметры, технические требования, призванные регламентировать достигнутые и перспективные показатели.

Проводимые в институте НИРы по установлению методов измерения параметров аппаратуры легли в основу разрабатываемых методических указаний, регламентирующих

методику градуировки и поверки аппаратуры по образцовым источникам излучения. По результатам апробации этих методик в последующие годы разработали государственные и отраслевые стандарты, причем наибольшее значение имели те, которые регламентировали основные и присоединительные размеры и параметры, обеспечивающие применение агрегатно-модульного принципа при построении аппаратуры. Такие стандарты устанавливали размеры несущих конструкций блоков детектирования, ряды напряжений питания, входных и выходных параметров и др.

Важно подчеркнуть: объектом стандартизации являлось всё ядерное приборостроение без разграничения на области применения. Особые требования к аппаратуре общей техники устанавливались стандартами вида ГОСТа. Такой подход, с одной стороны, исключал дублирование стандартов, а с другой — обеспечивал унификацию основных требований и условий применения в народном хозяйстве и общей технике.

Для привлечения максимального числа заинтересованных в ядерном приборостроении предприятий и организаций к разработке стандартов их проекты публиковались на протяжении 1966 — 1969 гг. в производственно-техническом сборнике «Стандартизация и качество в ядерном приборостроении», рассылаемом всем предприятиям отрасли, институтам Госстандарта и приборостроительным предприятиям смежных отраслей промышленности. Поступающие в большом количестве отзывы и предложения способствовали повышению качества и обеспечению актуальности разрабатываемых стандартов.

Нижеприведенная таблица 3 иллюстрирует разработку государственных, международных и отраслевых стандартов, выполненную специалистами института.

Таблица 3. Данные о разработке стандартов по состоянию на 1969 г.

Категория стандарта	Утверждено	В разработке и на утверждении	Всего
ГОСТ	19	27	46
РГ СЭВ	13	5	18
ОСТ	3	-	3
Всего	35	32	67

Дальнейшее развитие стандартизации в 70-е годы XX века характеризуется направленностью на нормативное обеспечение агрегатированной системы атомного приборостроения (АСАП), включающей в себя разработку и изготовление аппаратуры для измерения ионизирующих излучений (ядерное приборостроение) и аппаратуры, использующей ионизирующие излучения (радиационная техника и радиоизотопное приборостроение). Многономенклатурность изделий атомного приборостроения и их мелкосерийность, а также концентрация разрабатывающих и производящих предприятий в системе одного управления создавало предпосылки для широкого использования принципов унификации, стандартизации и агрегатирования при построении аппаратуры, что, в свою очередь, приводило к сокращению сроков и снижению стоимости ее разработки и изготовления, повышению качества и надежности, улучшению

эксплуатационных возможностей аппаратуры в условиях применения, обслуживания и ремонта.

Разработка АСАП ставила перед стандартизацией новые задачи, которые могли быть решены в рамках долгосрочной комплексной программы стандартизации. Эта программа, разработанная СНИИПом при участии Всесоюзного НИИ радиационной техники (ВНИИРТ, ныне Научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации, или НИИТФА) и Рижского НИИ радиоизотопных приборов (РНИИРП) и рассчитанная на 1972 — 1980 гг., являлась одной из первых программ в области приборостроения в стране. Ее основные положения были рассмотрены и одобрены Координационным советом по стандартизации и унификации министерства и высоко оценены Госстандартом по охвату изделий, категориям и видам стандартов, включенных в нее, а именно:

- охватывала ядерное, радиоизотопное и радиационное приборостроение;
- обеспечивала механическую, электрическую и информационную совместимость детектора, электронного функционального узла и блока, прибора и комплекса;
- включала параметрические стандарты, содержащие перспективные нормы с указанием сроков их достижения, т. е. предусматривала опережающую и ступенчатую стандартизацию;
- устанавливала терминологию, принятую в МЭК;
- предусматривала разработку отраслевых стандартов вида технических требований и методов испытаний на однородные группы изделий;
- регламентировала единство несущих конструкций, а также эргономические и эстетические требования к аппаратуре;
- учитывала согласование норм и требований ГОСТов и ОСТов с международными стандартами СЭВ и МЭК;
- содержала организационно-методические отраслевые стандарты, большинство которых распространялось не только на АСАП, но и на деятельность большинства предприятий отрасли;
- ограничивала применение материалов и комплектующих изделий в рамках АСАП (ограничительные перечни);
- предусматривала разработку изделий широкой применяемости в приборостроении, их унификацию и стандартизацию;
- была в широком смысле комплексная: содержала 400 стандартов различных видов и категорий, подлежала реализации в течение 8 — 10 лет и создавала условия для успешного функционирования АСАП.

Следует отметить, что программа была реализована только наполовину, так как не удалось осуществить совместную деятельность трех институтов по созданию технических средств и аппаратуры в рамках АСАП.

В 1976 г. было принято решение разделить программу АСАП на ряд самостоятельных программ по направлениям техники, разрабатываемых указанными институтами. Для ядерного приборостроения в 1977 г. была разработана Комплексная программа стандартизации средств измерения величин ионизирующих излучений (СИВИИ-1), одной из целей которой было увязать стандарты ядерного приборостроения с Единой системой стандартов приборостроения, разрабатываемой ВНИИИМашем Госстандарта при активном участии СНИИПа.

Важной стороной деятельности нашего института являлось активное участие в работах по международной стандартизации, выполняемых Постоянной комиссией СЭВ по использованию атомной энергии в мирных целях и Международной электротехнической комиссией. В деятельности этих организаций СНИИП участвовал, как уже отмечалось, с начала 60-х годов, выполняя функции секретариата секции приборостроения в ПК ИАЭ СЭВ и Постоянной советской части Технического комитета 45 МЭК.

Все время работы указанных выше органов проводилось совершенствование приборов радиационной безопасности. Наиболее интенсивно осуществлялись работы над созданием стационарного оборудования для мониторинга радиационной обстановки на предприятиях ядерной отрасли, приборов для измерения содержания в воздухе радона и его дочерних продуктов, мониторинга внешнего облучения, совершенствованием аппаратуры контроля несанкционированного перемещения ядерных и радиоактивных материалов с использованием методов спектрометрии, индивидуальных электронных дозиметров и портативных измерителей мощности дозы и др.

Проводимые в 1980 – 2000-е годы работы по совершенствованию и созданию новых типов промышленных детекторов, способных работать в условиях повышенных температур, агрессивных сред, обладающих более высокой механической прочностью, увеличенным сроком службы. Наряду с этим проводились исследования по поиску новых детектирующих материалов, разработке на их основе технологии изготовления неорганических сцинтилляторов с большим эффективным атомным номером, новых типов активаторов для пластмассовых сцинтилляторов, полупроводниковых детекторов и т. п.

Улучшению характеристик блоков детектирования (БД) способствовало также применение разработанных и серийно осваиваемых специальных микроузлов и малогабаритных высоковольтных источников питания детекторов, выполненных с использованием тонкопленочной технологии. Созданный набор микроузлов обеспечивает возможность совместной работы практически со всеми типами промышленно выпускаемых детекторов и позволяет проектировать типовые аналоговые радиометрические и спектрометрические тракты с помощью двух-трех микроузлов. Применение микроузлов позволило уменьшить габаритные размеры ряда сцинтилляционных блоков детектирования в 1,5 раза, снизить основную погрешность в три и более раза, временную и температурную нестабильность в 30 и 15 раз соответственно.

В ряде БД измерение объемной активности бета - активных газов и мощности дозы гамма-излучения осуществляется в результате формирования на выходе БД сигнала длительностью, равной времени накопления заданного заряда на интегрирующем конденсаторе или заданного числа импульсов в счетчике-накопителе и обратно пропорциональной объемной активности или мощности дозы.

Введение такого режима измерения придало новое качество этим блокам детектирования: они обеспечивали автоматическое сокращение времени получения окончательного результата с увеличением измеряемой активности, т.е. чем выше степень загрязнения (например, воздуха производственных помещений), тем быстрее поступает информация об этом. Иначе говоря, БД в некоторых случаях выполняли функции программно-управляемых приборов, входящих в измерительную систему.

В конце XX – начале XXI века началось внедрение первых промышленных образцов БД с входящими с их состав микропроцессорными средствами, которые позволяли не только более полно обрабатывать данные, осуществлять самоконтроль работоспособности и режима работы, но и передавать по каналу связи информацию в устройства более высокого уровня в виде численного значения результата в физических единицах измерения, а также учитывать погрешность измерения.

Важнейшую часть работ по научно-технической проблеме «Конструирование изделий ядерного приборостроения» составили работы по созданию унифицированных несущих конструкций, на основе которых должны выполняться электронные модули и агрегатные технические средства второго и третьего уровня распределенных систем, а также различных носимых и переносных приборов.

В СНИИПе ранее был разработан ряд конструктивных систем базовых несущих конструкций (например, «Вишня», «Черешня» и т.д.), которые благодаря принятой унификации и стандартизации технических решений, высоким технико-экономическим характеристикам, широко использовались не только в ядерном приборостроении, но и в других приборостроительных отраслях народного хозяйства. Переход к проектированию аппаратуры ядерного приборостроения четвертого поколения, связанный с применением новых принципов компоновки, созданием магистрально-модульных систем, применением микропроцессоров, ориентация на международные стандарты потребовали разработки новой конструктивной системы, отвечающей этим требованиям. Все системы базовых несущих конструкций ядерного приборостроения четвертого поколения построены по иерархическому принципу с обеспечением входимости несущих конструкций низших уровней в высшие.

Проведенные работы по развитию идеологии построения аппаратуры, отдельных технических средств, немислимые без унификации и стандартизации, создали реальные предпосылки для более целенаправленного и системного оснащения объектов атомной промышленности, ядерной энергетики, экспериментальных объектов атомной науки и техники современными изделиями ядерного приборостроения.

Большой вклад в решение данной проблемы в институте внесли в разные годы (перечислены в алфавитном порядке) М.Л. Каган, В.В. Матвеев, Ю.П. Новоселов, М.Л. Райхман, Ю.П. Сельдяков, А.Д. Соколов, К.Н. Стась, С.Б. Чебышов и др.